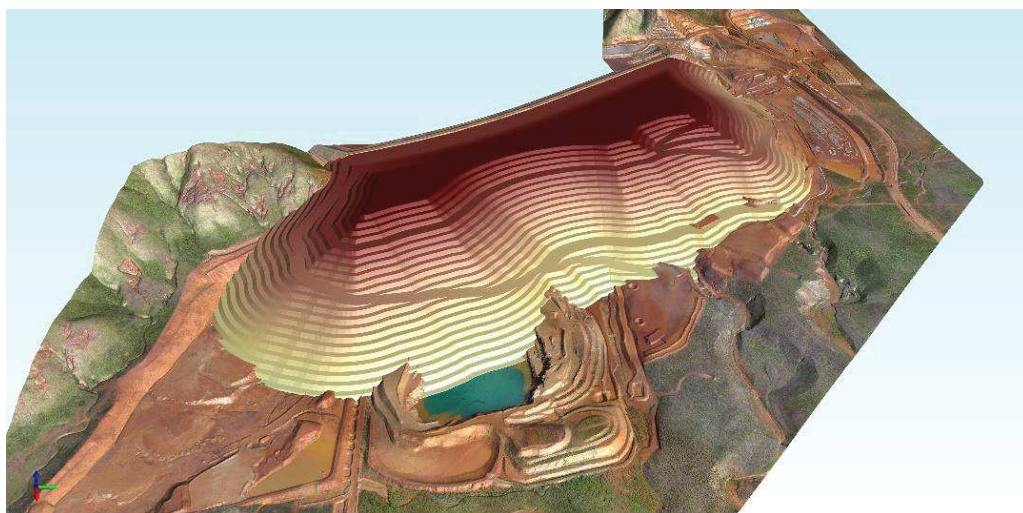




ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY

Client : PRNC



MECATER
INGÉNIERIE

Réf : MC-21-301-PRNC-02-R513

O3	16-03-2023	<i>Mise à jour</i> - Suite aux commentaires de la DIMENC - Suite aux modifications « Fel 4 » du projet Lucy	
O2	01-07-2022	<i>Mise à jour suite à la demande de PRNC d'intégrer l'EDD du parc à résidus KO2 réalisée par Golder et suite aux commentaires d'Artelia</i>	
O1	11-04-2022	<i>Création</i>	
Révision	Date	Objet de la modification	
		Rédacteur	Approbateur
		Vérificateur	
Nom et prénom			
Fonction		Chef de projet environnement et gestion des déchets Ingénieur d'études	Directeur Technique Directeur Général

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	17
0 RESUME NON TECHNIQUE.....	18
0.1 Phasage considéré dans l'analyse des risques.....	18
0.2 Méthodologie adoptée pour l'analyse des risques.....	19
0.3 Identification des potentiels de dangers.....	31
0.4 Modélisation de rupture du barrage KO2 et de la verse Lucy	31
0.5 Synthèse de l'analyse des risques	32
1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS.....	39
1.1 Présentation du Maître d'Ouvrage (Exploitant de l'Ouvrage).....	39
1.2 Présentation du bureau d'études réalisant l'étude de dangers	40
1.3 Cadre réglementaire et administratif.....	40
1.4 Cadre administratif dans lequel l'étude de dangers est réalisée.....	43
2 OBJET DE L'ETUDE DE DANGERS	44
2.1 Contexte.....	44
2.2 Objectifs de l'étude de dangers	45
2.3 Périmètre de l'étude.....	45
3 ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE ET DE SON ENVIRONNEMENT.....	47
3.1 Description du parc à résidus KO2 et analyse fonctionnelle interne	47
3.2 Description de la verse Lucy et infrastructures associées	76
3.3 Méthode de construction de la verse Lucy	79
3.4 Description de la zone aval du barrage KO2 (emprise de la verse Lucy et des infrastructures associées).....	86
3.5 Phasage de construction de la verse Lucy	90
3.6 Analyse fonctionnelle interne de la verse Lucy.....	113
3.7 Description de l'environnement de l'ouvrage et analyse fonctionnelle externe	117
4 POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS)	133
4.1 Conditions d'exploitation du parc à résidus KO2	133

4.2	Conditions de surveillance du parc à résidus KO2.....	134
4.3	Entretien et maintenance du parc à résidus KO2.....	145
4.4	Condition de surveillance de la verse Lucy	152
4.5	Gestion des situations d'urgence.....	156
4.6	Contrôle du système de gestion de la sécurité	162
5	<i>DIAGNOSTIC EXHAUSTIF DE L'ETAT ET BILAN DE CONCEPTION, DE COMPORTEMENT, ET D'ETAT DE L'OUVRAGE.....</i>	165
5.1	Diagnostic exhaustif et bilan de conception, de comportement et d'état du parc à résidus KO2	165
5.2	Conception initiale de la verse Lucy et ses ouvrages annexes, construction et travaux importants.....	241
6	<i>CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS</i>	273
6.1	Hydrologie.....	273
6.2	Géologie et hydrogéologie	276
6.3	Erosion et stabilité des versants du parc à résidus	281
6.4	Séisme.....	281
6.5	Cyclone	282
6.6	Foudre.....	284
6.7	Raz-de-marée.....	285
6.8	Incendie et feux de broussailles	285
7	<i>ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE</i>	286
7.1	Accidents survenus sur des zones de stockage de résidus humides	286
7.2	Accidents survenus sur des zones de stockage de résidus asséchés	295
7.3	Accidentologie interne : parc à résidus KO2	297
7.4	Accidentologie interne : Verse.....	310
8	<i>IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERMES DE PROBABILITE D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET DE CINETIQUE DES EFFETS ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES.....</i>	311
8.1	Phases de construction considérées dans l'analyse des risques.....	311
8.2	Méthodologie adoptée pour l'analyse des risques.....	311
8.3	Identification des potentiels de dangers.....	324

8.4	Modélisation des phénomènes dangereux	324
8.5	Résultats de la modélisation.....	333
8.6	Analyse préliminaire des risques	336
8.7	Analyse détaillée des risques (ADR) – Développement des nœuds papillons	403
8.8	Synthèse de l'analyse des risques	405
9	<i>ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES.....</i>	<i>408</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Nœud papillon.....	20
Figure 2 : Localisation du projet (GEOs4D 2022).....	44
Figure 3 : Vue d'ensemble des ouvrages constitutifs du parc à résidus KO2 (Source : GEOs4D).....	49
Figure 4 : Première étape de construction du barrage KO2.....	50
Figure 5 : Deuxième étape de construction du barrage KO2.....	51
Figure 6 : Coupe schématique du barrage (GEOs4D,2022)	52
Figure 7 : Vue aérienne du parc à résidus KO2 en direction de l'Est (23 novembre 2021)	54
Figure 8 : Variations mensuelles du pourcentage solide massique de la pulpe [64]	56
Figure 9 : Composition chimique des résidus.....	56
Figure 10 : Localisation des différents points de déposition dans l'aire de stockage.....	58
Figure 11 : Elément du bilan hydrique au cours de l'année 2021 [64].....	61
Figure 12 : Evolution du volume d'eau libre dans le parc à résidus KO2 en fonction des données pluviométriques [64]	61
Figure 13 : Plan d'aménagement générale de l'évacuateur de crues et des ouvrages annexes (Mecater 2022).....	64
Figure 14 : Conduites de collecte des eaux de fuite sous la géomembrane [24].....	66
Figure 15 : Vue sur les 4 exutoires des conduites des 4 secteurs du système de drainage sous la géomembrane [Réf.1]	67
Figure 16 : Station de décharge.....	69
Figure 17 : Vue d'ensemble sur l'amont du Parc à résidus KO2 avec le passage des canalisations de transfert des résidus en pulpe visible en rive gauche (photo aérienne de 2019).....	70
Figure 18 : Vue sur la barge de pompage des eaux surnageantes située au nord-est du bassin de stockage- (Source : GEOs4D, le 18 novembre 2021).....	72
Figure 19 : Coupe de la verse Lucy.....	76
Figure 20 : Détail du talus de la verse [Réf.3].....	76
Figure 21 : Plan de gestion des eaux de contact de la verse Lucy [Réf.3].....	78
Figure 22 : Coupe type de la verse.....	79
Figure 23 : Zones de stockage.....	80
Figure 24 : Renfort externe.....	81
Figure 25 : Renfort interne- zone de stockage période pluvieuse	81
Figure 26 : Renfort interne- zone de stockage période sèche.....	81
Figure 27: Méthode de stockage des résidus asséchés.....	83
Figure 28: Sens de poussage des résidus	84
Figure 29 : Principe de gestion des eaux au niveau des casiers de stockage.....	85
Figure 30 : Gestion des eaux à l'intérieur des casiers	85
Figure 31 : Infrastructures et installations existantes dans la zone aval du barrage KO2.....	87
Figure 32 : Vue en plan du traitement du creek KO2.....	92
Figure 33 : Vue en plan des travaux de comblement de la carrière Audemard.....	93
Figure 34 : Coupes Types des drains de la carrière Audemard.....	93
Figure 35 : Schéma de localisation des ouvrages de drainage.....	95
Figure 36 : Coupe type de l'ouvrage d'extension des drains de pied et des conduites du réseau de sous drainage de KO2.....	96
Figure 37 : Coupe longitudinale du nouveau puits de pompage.....	96
Figure 38 : Coupe type de la tranchée du drain 220N.....	97
Figure 39 : Coupe type de la tranchée du drain 206 S.....	97
Figure 40 : Coupe type du canal trapézoïdal.....	99
Figure 41 : Coupe type de la piste drainante.....	99
Figure 42 : Vue en plan de l'aménagement du drain de dérivation sud permanent.....	99
Figure 43 : Vue en plan de l'extension des câbles d'instrumentation en aval du barrage KO2	101
Figure 44 : Système de collecte des eaux de percolation (lixiviats)_ Solution alternative : Utilisation du géocomposite de drainage.....	104

Figure 45 : Vue 3D de l'aménagement général des bassins d'eaux de contact (Mecater 2022).....	105
Figure 46 : Vue en plan des bassins d'eaux de contact (Mecater 2022).....	105
Figure 47 : Systèmes de détection des fuites et d'étanchéité aménagés au niveau des bassins d'eaux de contact.....	107
Figure 48 : Travaux de réhabilitation de la verse.....	113
Figure 49 : Pluviométrie et évapotranspiration annuelles du site de Goro.....	122
Figure 50 : Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles du site de Goro.....	122
Figure 51 : Localisation des bassins-versants de la Kvé Ouest [Réf.2].....	123
Figure 52 : Modèle géologique global (Mecater 2022).....	126
Figure 53 : Localisation des aires protégées à proximité du parc à résidus KO2 (site internet de la province Sud : https://www.province-sud.nc/).....	130
Figure 54 : Activités et voies de communication principales à proximité de la verse Lucy.....	132
Figure 55 : Analyse fonctionnelle externe.....	132
Figure 56 : Entretien des différents accès dans la zone du parc à résidus KO2.....	146
Figure 57 : Organigramme de notification en cas d'accident (transmis par V.ALE le 05/11/2019).....	160
Figure 58 : localisation des éléments inspectés.....	169
Figure 59 : Vue sur la géomembrane et lests en fond de bassin lors de la phase de construction de l'aire de stockage KO2 (Source [10]).....	182
Figure 60 : Schéma explicatif de la profondeur des résidus sous la barge dans l'aire de stockage (Source :[10]).....	185
Figure 61 : Vue sur le puits de pompage à l'aval du barrage (Source : GEOs4D, le 18/11/2021).....	194
Figure 62 : Vue sur les drains (fossés) de pied aval du barrage [10].....	196
Figure 63 : Puisard de collecte et container enterré (décembre 2022).....	198
Figure 64 : Vue sur le drain de dérivation nord des eaux de ruissellement (GEOs4D, le 24/11/2021).....	200
Figure 65 : Vue sur le drain de dérivation sud des eaux de ruissellement (GEOs4D, le 24/11/2021).....	200
Figure 66 : Vue sur le bassin Nothofagus (GEOs4D, le 24/11/2021).....	200
Figure 67 : Vue sur l'aval du coursier enroché récupérant les eaux du drain de dérivation sud et du bassin versant du dog-leg [53].....	203
Figure 68 : Vue sur une station de décharge (exemple station 2-1 du talus 206/220, aujourd'hui bétonnée), [44].....	205
Figure 69 : Vue sur l'exutoire du drain horizontal de subsurface Nord se rejetant dans le bassin de sédimentation KW-D33 (GEOs4D, le 18/11/2021).....	206
Figure 70 : Vue sur l'exutoire du drain de dérivation souterrain sud (GEOs4D, le 18/11/2021).....	206
Figure 71 : Schéma de localisation des pipelines [31].....	209
Figure 72 : Système de vannes au niveau du col de l'Antenne [10].....	210
Figure 73 : Répartition des tassements sur la dernière année au 30/06/2021 [41].....	218
Figure 74 : Conductivité dans les drains 4R7 à 4R8 sur 1 an et depuis 2019 (source GEOSCOPE).....	225
Figure 75 : Débits dans les drains 4R7 à 4R9 sur 1 an et depuis 2019 (source GEOSCOPE).....	225
Figure 76 : Variation de pression des capteurs de la fondation ayant présentés une augmentation lors de la période d'infiltration (source GEOSCOPE).....	226
Figure 77 : Variation des niveaux piézométriques dans la Zone 1A sur 10 ans (source GEOSCOPE).....	226
Figure 78 : Variation des niveaux piézométriques dans la Zone 3A sur 10 ans (source GEOSCOPE).....	227
Figure 79 : Variation de pression dans la Zone 3A sur 1 an (source GEOSCOPE).....	228
Figure 80 : Inspection sous-marine de l'ensemble de la face amont du barrage par un scaphandrier depuis la banquette RL220m (source PRNC).....	229
Figure 81 : Hypothèse du mécanisme d'infiltration (source PRNC).....	230
Figure 82 : Vue 3D de la phase 5.....	244
Figure 83 : Vue 3D de la phase 7.....	244
Figure 84 : Enregistrement sismique (Michoacan 1985, Mexique) adopté dans le calcul de stabilité dynamique.....	247
Figure 85 : Coupe longitudinale du puisard Pump pit.....	260
Figure 86 : Vue en plan de l'exutoire du drain 220N.....	262
Figure 87 : Coupe longitudinale de l'exutoire du drain 220N.....	262

Figure 88 : Vue en plan de l'exutoire du drain 206S	262
Figure 89 : Coupe longitudinale de l'exutoire du drain 206S	262
Figure 90 : Vue en plan du puisard Nord	265
Figure 91 : Coupe longitudinale du puisard Nord	265
Figure 92 : Vue en plan du puisard central.....	265
Figure 93 : Coupe longitudinale du puisard central.....	265
Figure 94 : Vue en plan du puisard Sud.....	266
Figure 95 : Coupe longitudinale du puisard Sud.....	266
Figure 96 : Vue en plan du regard des sous écoulements du NCWP	268
Figure 97 : Coupe longitudinale du regard des sous écoulements du NCWP	268
Figure 98 : Vue en plan du regard des sous écoulements du SCWP	268
Figure 99 : Coupe longitudinale du regard des sous écoulements du SCWP	268
Figure 100 : Vue en plan du regard des sous écoulements du FCWP.....	269
Figure 101 : Coupe longitudinale du regard des sous écoulements du FCWP.....	269
Figure 102 : Carte géologique et structurale de la zone du parc à résidus [Réf.2]	277
Figure 103 : Traitement d'une cavité ou d'un vide sous cuirasse	279
Figure 104 : Traitement des dolines ou poches dont l'assise est compétente et connue	280
Figure 105 : Traitement de dolines ou les poches de grandes profondeurs dont l'assise est non-compétente et/ou inaccessible.....	281
Figure 106 : Évolution du nombre d'accidents liés au parc de stockage de résidus au cours du temps et de leur répartition géographique (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope).....	287
Figure 107 : Analyse des causes des accidents recensés (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)	288
Figure 108 : Répartition des accidents recensés selon leur type (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope).....	288
Figure 109 : Répartition des accidents recensés selon la méthode de construction de la digue lorsqu'elle est connue (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)	289
Figure 110 : Répartition des accidents recensés selon le type de matériau utilisé pour la digue lorsqu'il est connu (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)	290
Figure 111 : Vues avant/ après de la rupture du parc à résidus.....	293
Figure 112 : Village de Bento Rodrigues après la rupture de la digue de Fundão (Source : TV Senado).....	294
Figure 113 : Nœud papillon.....	313
Figure 114 : Localisation du point de rupture pour le barrage KO2 pendant la phase des travaux préparatoires.....	326
Figure 115 : Localisation du point de rupture pour le barrage KO2 (phase de confortement).....	326
Figure 116 : Localisation du point de rupture pour la verse Lucy (phase de confortement).....	327
Figure 117 : Localisation du point de rupture pour la verse Lucy (phase finale/fermeture).....	327
Figure 118 : Hydrogramme de la crue générée par la rupture du barrage KO2 par glissement, sur une largeur de 1000 m, volume déversé 12 200 000 m ³	331
Figure 119 : Hydrogramme de la crue générée par la rupture du barrage KO2 par débordement sur une largeur de 105 m, volume déversé 16 030 000 m ³	332
Figure 120 : Hydrogramme de la crue générée par la rupture du barrage KO2 par phénomène de piping sur une largeur de 90 m, volume déversé 12 200 000 m ³	332

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau de référence des MMR existantes, de leur fonction et de leur décote	21
Tableau 2 : Echelle de probabilité (arrêté du 29 septembre 2005)	27
Tableau 3 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers.....	28
Tableau 4 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers.....	28
Tableau 5 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers.....	30
Tableau 6 : ERC retenus dans l'ADR.....	32
Tableau 7 : Tableau de synthèse des scénarios de l'ADR.....	34
Tableau 8 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques humains.....	35
Tableau 9 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques environnementaux.....	37
Tableau 10 : Caractéristiques physiques des résidus humides	55
Tableau 11 : Composition moyenne des résidus – 2014 à 2021 [64]	57
Tableau 12 : Données issues du levé bathymétrique en date du 30/01/2023	59
Tableau 13 : Bilan hydrique global de l'aire de stockage de résidus de l'année 2021 [64].....	60
Tableau 14 : Instruments utilisés pour le suivi du barrage [65]	73
Tableau 15 : Analyse fonctionnelle interne du parc à résidus KO2	74
Tableau 16 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents renforts internes et externe	82
Tableau 17 : Installations existantes dans la zone aval du barrage KO2 et leur devenir durant la phase préparatoire.....	88
Tableau 18 : Etapes de construction de la verse Lucy.....	90
Tableau 19 : Description des travaux préparatoires.....	91
Tableau 20 : Débits intercepté par chaque drain & Système de drainage retenu.....	102
Tableau 21 : Caractéristiques des bassins d'eaux de contact.....	106
Tableau 22 : Phasage de construction de la verse Lucy (Phase de confortement).....	108
Tableau 23 : Phasage de construction de la verse Lucy (Phase finale).....	111
Tableau 24 : Volume des matériaux stockés dans la verse Lucy.....	112
Tableau 25 : Analyse fonctionnelle interne de la verse Lucy	114
Tableau 26 : Statistiques sur le nombre de jours de pluie par an.....	119
Tableau 27 : Intensité des pluies (mm/h) issues des courbes IDF (SNC Lavalin, 2013)	120
Tableau 28 : Inspections internes réalisées.....	137
Tableau 29 : Paramètres et fréquences de surveillance des instruments installés dans le barrage (GEOs4D)	141
Tableau 30 : Contrôle externe	145
Tableau 31: Entretien du barrage KO2 et du bassin de stockage (Source : [10]).....	148
Tableau 32 : Entretien des systèmes de gestion des eaux	150
Tableau 33 : Barge de pompage-Inspection et maintenance préventive	151
Tableau 34 : Puits de pompage aval et drains de pied-Inspection et maintenance préventive	151
Tableau 35 : Entretien des dispositifs d'auscultation.....	152
Tableau 36 : Présentation du réseau d'auscultation.....	154
Tableau 37: Définition des niveaux d'urgence [9].....	158
Tableau 38: Niveau d'urgence et dispositif opérationnel mis en place [9].....	158
Tableau 39 : Recommandation d'actions à haute priorité : à réaliser dans les 3 à 6 mois.....	169
Tableau 40: Historique des évènements de conception et construction importants [10]	172
Tableau 41: Synthèse des critères de conception des ouvrages liés à la gestion des eaux [10]	174
Tableau 42 : Principaux critères de dimensionnement initiaux du barrage KO2 [52]	178
Tableau 43 : Critères géométriques du barrage KO2	180
Tableau 44: Critère de fonctionnement de la barge de pompage.....	185
Tableau 45: Synthèse des éléments de design de l'évacuateur de crue (Mecater 2022).....	188
Tableau 46: Caractéristiques des conduites collectant les eaux drainage des 4 secteurs sous la géomembrane (Source :[30]).....	192
Tableau 47: Critères ICPE de rejet vers l'environnement des eaux issues du drainage du barrage [10]	197

Tableau 48: Caractéristiques des fossés drainants en aval du barrage captant les eaux d'exhaure du tapis drainant et les eaux de ruissellement du parement aval du barrage [30],[52]	198
Tableau 49: Caractéristiques des drains de dérivation des eaux de ruissellement des versants [30]	201
Tableau 50: caractéristiques du coursier enroché du bassin versant du dog-leg [30].....	203
Tableau 51: caractéristiques des drains horizontaux [30].....	207
Tableau 52: Description des bassins décanteurs KW D19 et KW D15 [10].....	208
Tableau 53: Transferts gérés par les pipelines du Parc à résidus ([10] et [31]).....	209
Tableau 54: Situation des instruments d'auscultation installés au niveau du barrage (surface, corps et fondations) et à l'aval (GEOS4D 2023).....	213
Tableau 55: Comportements surveillés par le système d'auscultation en place sur le barrage KO2 et à l'aval [41]	214
Tableau 56: Listes des dégradations et améliorations associées constatées sur l'ouvrage depuis la mise en service	232
Tableau 57: Dégradations et améliorations constatées dans l'ETC 2016, la VTA 2017, la VTA 2018 et la VTA 2019.....	235
Tableau 58 : Eléments constitutifs de la verse.....	241
Tableau 59 : Synthèse de critères de design et les éléments de dimensionnement de la verse Lucy.....	242
Tableau 60 : Résultats du calcul de stabilité du barrage KO2 après confortement	245
Tableau 61 : Paramètres de l'Aléa Sismique.....	246
Tableau 62 : Synthèse des résultats des calculs de stabilité de la verse Lucy	248
Tableau 63 : Caractéristiques hydrauliques des écoulements dans le tronçon 1 – Dimensionnement retenu	251
Tableau 64 : Caractéristiques hydrauliques des écoulements pour le tronçon 2 – Dimensionnement retenu.....	252
Tableau 65 : Caractéristiques des renforts internes et externes.....	252
Tableau 66 : Dimensions et caractéristiques hydrauliques des descentes d'eau.....	254
Tableau 67 : Dimensionnement et caractéristiques de système de drainage des sous écoulements	256
Tableau 68 : Caractéristiques et dimensionnement des ouvrages relatifs à l'extension du réseau de sous drainage existant et des drains de pied KO2	258
Tableau 69 : Dimensionnement génie civil du puits de pompage aval.....	260
Tableau 70 : Dimensionnement hydraulique et génie civil de l'extension des drains 206 S et 220 N	262
Tableau 71 : Caractéristiques de la barrière étanche à la base de la verse Lucy	263
Tableau 72 : Caractéristiques de système de collecte des eaux d'infiltration	266
Tableau 73 : Caractéristiques des bassins des eaux de contact.....	269
Tableau 74 : Caractéristiques des ouvrages de drainage de la piste d'accès au NCWP.....	272
Tableau 75 : Calcul des précipitations PMP.....	274
Tableau 76 : Intensité des précipitations (mm/h).....	275
Tableau 77: Modélisation de la pluviométrie maximale pour différentes périodes de retour et durée de précipitation [57]	283
Tableau 78 : Scénarios de rupture pour un stockage en verse (cas réel en Colombie Britannique).....	297
Tableau 79 : Incidents survenus sur le parc à résidus KO2 (EDD KO2 2019).....	298
Tableau 80 : Intégration du retour d'expérience de l'accidentologie externe et interne dans la conception du parc à résidus KO2.....	307
Tableau 81 : Tableau de référence des MMR existantes, de leur fonction et de leur décote.	316
Tableau 82 : Echelle de probabilité (arrêté du 29 septembre 2005).....	320
Tableau 83 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers.....	321
Tableau 84 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers.....	321
Tableau 85 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers.....	322
Tableau 86 : Volumes relâchés en cas de rupture.....	329
Tableau 87 : Paramètres retenus pour la modélisation	330
Tableau 88 : Récapitulatif des vagues d'écoulements causées par la rupture	334
Tableau 89 : Evénements redoutés identifiés pendant la phase des travaux préparatoires.....	337
Tableau 90 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires ».....	339
Tableau 91 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de piping pendant la phase des travaux préparatoires ».....	341

Tableau 92 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement par le barrage pendant la phase des travaux préparatoires ».....	341
Tableau 93 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires ».....	342
Tableau 94 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase des travaux préparatoires ».....	343
Tableau 95 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Envol de poussières de résidus pendant la phase des travaux préparatoires ».....	344
Tableau 96 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval pendant la phase des travaux préparatoires ».....	344
Tableau 97 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase des travaux préparatoires ».....	345
Tableau 98 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase des travaux préparatoires ».....	346
Tableau 99 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement d'un ou plusieurs fossés de pied aval du barrage pendant la phase des travaux préparatoires ».....	347
Tableau 100 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires ».....	347
Tableau 101 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires ».....	348
Tableau 102 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires.....	348
Tableau 103 : Evénements redoutés identifiés (phase de confortement).....	349
Tableau 104 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture du barrage (phase de confortement) ».....	353
Tableau 105 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de piping (phase de confortement)».....	355
Tableau 106 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement par le barrage (phase de confortement) ».....	355
Tableau 107 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase de confortement).....	356
Tableau 108 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Percolation dans le milieu souterrain (phase de confortement)».....	358
Tableau 109 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Envol de poussières de résidus (phase de confortement) ».....	359
Tableau 110 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de piping dans la verse (phase de confortement)».....	360
Tableau 111 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval (phase de confortement)».....	361
Tableau 112 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus (phase de confortement)».....	361
Tableau 113 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de confortement)».....	363
Tableau 114 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée (phase de confortement)».....	363
Tableau 115 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)».....	364
Tableau 116 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement) ».....	364

Tableau 117 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 ».....	365
Tableau 118 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture de la verse (phase de confortement) ».....	365
Tableau 119 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de confortement) ».....	366
Tableau 120 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période sèche (phase de confortement) ».....	366
Tableau 121 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse (phase de confortement) ».....	366
Tableau 122 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité de la verse (phase de confortement) ».....	367
Tableau 123 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité des fondations et de la base de la verse (phase de confortement) ».....	367
Tableau 124 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des puisards de collecte des eaux d'infiltration (phase de confortement) ».....	368
Tableau 125 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement) ».....	369
Tableau 126 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin Nord (phase de confortement) ».....	369
Tableau 127 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de Piping dans le bassin Nord (phase de confortement) ».....	370
Tableau 128 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité du bassin Nord (phase de confortement) ».....	370
Tableau 129 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin nord vers le bassin KO2 (phase de confortement) ».....	371
Tableau 130 : Evénements redoutés identifiés pendant la phase finale.....	372
Tableau 131 Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de piping pendant la phase finale ».....	377
Tableau 132 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rejet incontrôlée des résidus humides et du surnageant dans l'environnement pendant la phase finale ».....	379
Tableau 133 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale ».....	379
Tableau 134 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase finale ».....	380
Tableau 135 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Envol de poussières de résidus pendant la phase finale ».....	382
Tableau 136 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval pendant la phase finale ».....	383
Tableau 137 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase finale ».....	383
Tableau 138 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase finale ».....	384
Tableau 139 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase finale ».....	385
Tableau 140 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase finale ».....	385
Tableau 141 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase finale ».....	386

Tableau 142 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 pendant la phase finale »	386
Tableau 143 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture de la verse pendant la phase finale ».....	387
Tableau 144 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Ravinement et rejet des résidus asséchés et des eaux de contact dans l'environnement pendant la phase finale »	387
Tableau 145 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période sèche pendant la phase finale ».....	388
Tableau 146 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse pendant la phase finale »	388
Tableau 147 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité de la verse pendant la phase finale ».....	389
Tableau 148 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité des fondations et de la base de la verse pendant la phase finale ».....	389
Tableau 149 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation pendant la phase finale »	390
Tableau 150 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale ».....	391
Tableau 151 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement incontrôlé des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin central pendant la phase finale ».....	391
Tableau 152 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin central vers le bassin KO2 pendant la phase finale ».....	392
Tableau 153 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de Piping dans les bassins pendant la phase finale ».....	392
Tableau 154 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité d'un bassin pendant la phase finale »	393
Tableau 155 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Erosion de la descente d'eau N°09 et de l'appuis sud de la verse pendant la phase finale ».....	393
Tableau 156 : Evènements redoutés identifiés pendant la phase de fermeture	394
Tableau 157 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de piping (Phase de fermeture) »	396
Tableau 158 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Percolation dans le milieu souterrain (phase de fermeture) »	397
Tableau 159 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval (phase de fermeture) »	399
Tableau 160 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de fermeture) »	400
Tableau 161 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture de la verse (phase de fermeture) »	400
Tableau 162 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de fermeture) »	401
Tableau 163 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse (phase de fermeture) »	401
Tableau 164 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation (phase de fermeture) »	402
Tableau 165 : ERC retenus dans l'ADR.....	403
Tableau 166 : Tableau de simplification pour la porte « et »	405
Tableau 167 : Tableau de simplification pour la porte « ou »	405
Tableau 168 : Tableau de synthèse des scénarios de l'ADR	405

Tableau 169 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques humains	408
Tableau 170 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques environnementaux.....	409

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Reportage photographique de l'état actuel du parc à résidus KO2
Annexe B : Plan de l'ensemble du système d'auscultation du parc à résidus KO2
Annexe C : Levé bathymétrique réalisé au mois de janvier 2023
Annexe D : Réseau de drainage sous la barrière étanche
Annexe E : Plan d'implantation du réseau de collecte des lixiviats
Annexe F : Vue en plan des bassins des eaux de contact
Annexe G : Consigne de surveillance et manuel d'opération, d'entretien et de surveillance
Annexe H : TARP parc à résidus KO2
Annexe I : Plans d'auscultation de la verse Lucy
Annexe J : TARP Verse Lucy
Annexe K : Examen technique complet du parc à résidus KO2
Annexe L : Rapports d'auscultation de 2021 et 2022
Annexe M : Accidentologie interne des verses (PRNC)
Annexe N : Evaluation de la performance des MMR
Annexe O : Modélisation de rupture du parc à résidus KO2 et de la verse
Annexe P : Tableaux APR
Annexe Q : Nœuds papillon
Annexe R : Modélisation de rupture du barrage KO2 (75% du volume relâché)

LISTE DES REFERENCES

- [1] MTES, Arrêté du 3 septembre 2018 modifiant l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, 2018
- [2] Haut-Commissariat de la République en Nouvelle-Calédonie, « Plan ORSEC aménagements hydrauliques (PPI grands barrages), » 2013
- [3] ARTELIA, « Etude de dangers - Parc à résidus de la Kwé Ouest (KWRSF), » 2014
- [4] Golder Associates, « Dam break analysis for KO2 when filled with residue (028 - 19118422 - REV0), » 2020
- [5] Géoportail, Carte géoportail disponible sur <https://www.geoportail.gouv.fr/>, 2016
- [6] Décret n°2007-1745 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement, 2007
- [7] Artelia, Etude De Danger du barrage de la Kwé Ouest, 2013
- [8] UNESCO, « <https://en.unesco.org/>, »
- [9] VNC, Plan d'actions d'urgence Barrage KO2, 2019
- [10] Manuel d'opération, d'entretien et de surveillance du parc à résidus KO2 (2023)
- [11] Golder Associates, « Révision du plan de déposition et du système de distribution des résidus de la KWRSF, » 2014
- [12] Consignes de surveillance -2023
- [13] TRACTEBEL, « Revue de sûreté - Parc à résidus de la Kwé Ouest, » 2016
- [14] « Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des ICPE, »
- [15] VALE Nouvelle-Calédonie, « Guide méthodologique relatif à la réalisation et au réexamen d'une étude de dangers - Ref : EPS-0304-HSR, » 2019
- [16] Province Sud de la Nouvelle Calédonie, « Arrêté n°1466-2008/PS du 9 octobre 2008 d'autorisation, » 2008
- [17] Legifrance, « Arrêté du 24 octobre 2018 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, » 2018. [En ligne]. Available: legifrance.gouv.fr
- [18] Legifrance, décret n°2015-526 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques, 2015
- [19] SAFEGE, Compte rendu de la visite technique approfondie du 04/12/2018 au 05/12/2018 - Parc à résidus de la Kwé Ouest, 2019
- [20] GORO NICKEL, Demande d'autorisation d'exploiter des installations classées - Parc à résidus miniers de la Kwé Ouest, 2007
- [21] VNC, Etude de danger (Livret D) - Demande d'autorisation d'exploiter des installations classées, 2016

-
- [22] VNC, Cahier des Charges VNC : Prestation de révision de l'Etude De Danger du Parc à Résidus de la Kwé Ouest 2, 2019
- [23] « SIG Cadastre, » [En ligne]. Available: <https://cadastre.gouv.nc/>
- [24] VNC, Demande d'autorisation d'exploiter des installations classées - Livret B : Description du projet, 2016
- [25] VALE Nouvelle Calédonie, « Rapport d'exploitation du 2ème semestre 2018 du Parc à résidus de la Kwé Ouest, » 2018
- [26] Golder Associates, «Residue Deposition and Waterbalance Modeling for the Kwe Ouest Residue
- [27] Storage Facility. Goro Nickel Project. New Caledonia. Report 618. Rev 11 » 2007 Golder Associates, «The Design of the Hydraulic Structures for the KWRSF – Goro Nickel Project, » 2005
- [28] Arrêté n°3690-2017/ARR/DIMENC autorisant la société VALE Nouvelle Calédonie à exploiter une usine d'assèchement de résidus et un stockage de déchets issus du procédé hydro-métallurgique – Site de la Kwé Ouest - Commune de Yaté, 29/11/2017
- [29] [TRACTEBEL, « Examen technique complet – février 2016 - Parc à résidus de la Kwé Ouest, » 2016
- [30] VALE Nouvelle Calédonie, « Fiche ouvrage KO2, » 2018
- [31] VALE Nouvelle-Calédonie, « Demande de permis de construire - Projet Lucy - Phase 2 - Livret D – volet D2 - Etat initial de l'environnement du site du projet et de son environnement, 2017
- [32] N. ROMIEUX, « Synthèse et régionalisation des données pluviométriques, » 2011
- [33] Meteo France, « Bulletin climatique annuel de la Nouvelle-Calédonie, » 2018
- [34] Meteo France, « Nouvelle Calédonie - Météo et climat, »
- [35] BRGM, « Evaluation probabilité de l'aléa sismique de la Nouvelle-Calédonie - BRGM/RP-54935-FR, » janvier 2008.
- [36] C. d. l'environnement, articles R.563-1 à R.563-8
- [37] Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages
- [38] BRGM, «Seismic Hazard Assessment Recommended Values, » 2015.
- [39] IRD, « Le réseau sismologique de Nouvelle-Calédonie, »
- [40] Golder Associates, «Dam break analysis for KO2, » 2019
- [41] GEOS4D, « Rapport complet de l'auscultation de la berme n°156 - Décembre 2021 - Aire de Stockage des Résidus de la Kwé Ouest - KO2 - Vale Nouvelle Calédonie, » 2021
- [42] SAFEGE, « Compte rendu de la visite technique approfondie du Parc à résidus Kwé Ouest réalisée en 2019 - V1, » 2020
- [43] SAFEGE, « Compte rendu de la visite technique approfondie du 04/12/2018 au 05/12/2018, » 2019
- [44] TRACTEBEL, « Visite Technique Approfondie des 4 et 5 octobre 2017 - Parc à résidus de la Kwé Ouest, » 2018
- [45] L'Association minière du Canada, « Guide de gestion des parcs à résidus miniers, Comment rédiger un manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance des parcs à résidus miniers et des installations de gestion des eaux, » 2011
- [46] ACB (Association Canadienne des Barrages), « Dam Safety Guidelines, » 1999
-

-
- [47] Goro Construction Team, «Compliance with Best Available Techniques for Tailings Dams, » 2008
- [48] Commission européenne, « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles – Gestion des résidus et stériles des activités minières,» 2009
- [49] Golder Associates, «Design Basis Memorandum for Kwé Ouest Residue Storage Facility at the Goro Nickel Project,» 2007
- [50] Golder Associates, «Stability Assessment of KO2 Berm Using Recent Testing - Ref. 1671587-048-RRRevB,»2017
- [51] Golder Associates, «Rapport Golder ref. 707-03639030,» 2005.
- [52] Golder Associates, «KWRSF Design Report - Revision 1,» 2009.
- [53] Golder Associates, «Site visit to the KO2 residue storage facility,» 2019.
- [54] HATCH, «Updated KO2 Water Balance,» 2018.
- [55] BRGM, [En ligne]. Available: <http://www.planseisme.fr/>
- [56] HATCH, «Hydraulic calculation for KO2 CWP,» 2018.
- [57] GHD, «GHD KO4 Surface Water Hydrology Report,» 2016.
- [58] D. REID et A. FOURIE, «Back analyses of the August 2016 Luoyang red mud tailings facility failure,» sd
- [59] VALE Nouvelle-Calédonie, « Etude de dangers (Livret D) – Demande d'autorisation d'exploiter des installations classées,» 2016
- [60] Circulaire 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT)
- [61] VNC, Exploitation du parc à résidu de la Kwé Ouest - Rapport du 2ème semestre 2018, mars 2019
- [62] VNC, Porter à connaissance - Traitement des résurgences des talus, 2013
- [63] Mise à jour de l'étude de dangers du parc à résidus KO2 (19125805_V4)-Golder-avril 2020
- [64] Le rapport annuel d'exploitation (2ème semestre 2021)
- [65] L'Examen Technique Complet (Golder 2022)
- [66] Visite technique approfondie de 2021
- [67] Mecater, « Estimation de la capacité résiduelle du parc KO2 », 2021
- [68] PRNC, « consignes de surveillance », 2020
- [69] Rapport de design de la verse Lucy-Mecater-Avril 2022
- [70] TARP Parc à résidus (PRNC 2021)
- [71] TARP Verse Lucy (Mecater 2022)
- [72] Visite technique approfondie de 2022
- [73] GEOs4D, « Rapport complet de l'auscultation de la berme n°160 (octobre à décembre 2022) - - Aire de Stockage des Résidus de la Kwé Ouest - KO2 - Vale Nouvelle Calédonie,» 2022

Liste des abréviations

ADR : Analyse détaillée des risques
ANCOLD : Australian National Committee on Large Dams
APR : Analyse préliminaire des risques
ARIA : Analyse, recherche et information sur les accidents
BAT : Best Available techniques (Meilleures pratiques à l'internationale)
CPI : Capteur de pression interstitielle
DIMENC : Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de la Nouvelle-Calédonie
EDD : Etude de dangers
EI : Evènement initiateur
ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement
IRD : Institut de recherche pour le développement
KO2 : Kwé Ouest 2
KWRSF : Kwe West Residue Storage Facility (Parc à résidus KO2)
MEES : Manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance de l'aire de stockage des résidus de la Kwé ouest
MES : Matières en suspension
MMR : Mesure de maîtrise des risques
MMRH : mesure de maîtrise des risques humaine
MMRI : Mesure de maîtrise des risques instrumentale
ORSEC : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
PAU : plan d'action d'urgence
PCS : process control system (outil informatique de suivi de pompage et automatisation de la séquence de pompage)
POI : Plan d'opération interne
PPI : Plan particulier d'intervention
REX : retour d'expérience
SGS : Système de gestion de la sécurité
TARP : Trigger action response plan (Plan d'action en cas d'urgence, complément du PAU)
VTA : Visite technique approfondie

INTRODUCTION

PRNC exploite la mine de nickel et cobalt de Goro, située en province Sud de Nouvelle-Calédonie. Le procédé hydro-métallurgique de l'usine permet d'extraire le nickel et le cobalt contenus dans les minerais latéritiques. Pour chaque tonne de minerai traité, environ 1,3 tonne de résidus humides est produite. Ces résidus sont actuellement pompés vers le parc à résidus KO2.

Le « projet Lucy » consiste en la création d'une installation d'assèchement par filtration, nommée usine « DWP2 », et le stockage des résidus asséchés issus de cette usine dans une verse stabilisée en aval immédiat du barrage KO2, nommée « verse Lucy ».

La verse Lucy assure à la fois le stockage des résidus asséchés produits par l'usine de filtration DWP2 et le confortement du barrage KO2 pour répondre à une problématique d'évolution des facteurs de sécurité recommandés par l'ANCOLD vis-à-vis de la stabilité de l'ouvrage en conditions non drainées et en conditions post sismiques.

L'étude de dangers du parc à résidus KO2 a été réalisée et actualisée à plusieurs reprises.

La première étude de dangers a été réalisée en 2007. Une seconde étude de dangers a été réalisée en 2014 par Artelia. Cette étude de dangers a ensuite été actualisée par Golder en 2020. Dans le cadre du projet Lucy, une étude de dangers a été réalisée en 2022 par Mecater. Cette étude de dangers couvre à la fois le parc à résidus KO2 et la verse Lucy (en tenant compte de la version actualisée de l'étude de dangers du parc à résidus KO2 rédigée par Golder et des commentaires formulés par la DIMENC).

0 RESUME NON TECHNIQUE

L'étude de dangers du parc à résidus KO2 a été réalisée et actualisée à plusieurs reprises.

La première étude de dangers a été réalisée en 2007. Une seconde étude de dangers a été réalisée en 2014 par Artelia. Cette étude de dangers a ensuite été actualisée par Golder en 2020. Dans le cadre du projet Lucy, une étude de dangers a été réalisée en 2022 par Mecater. Cette étude de dangers couvre à la fois le parc à résidus KO2 et la verse Lucy.

Le barrage KO2 est classé en fonction de ses caractéristiques dimensionnelles en barrage de classe A, suivant le classement des barrages défini par le décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques, modifiant le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007.

Toute modification substantielle apportée sur le barrage KO2 est donc soumise à l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH), conformément à l'article R214-120-1 du code de l'environnement.

Dans le cadre du projet Lucy, les travaux de modifications substantielles apportées sur le barrage KO2 concernent la réalisation de la verse Lucy, permettant le stockage des résidus asséchés contre le talus aval ainsi que le confortement du barrage KO2.

La construction de la verse Lucy a été autorisée par l'arrêté provincial n°3690-2017/ARR/DIMENC du 29/11/2017, émis par la Province Sud de la Nouvelle Calédonie. Cet arrêté autorise la construction de la verse sous la rubrique 2760 de la nomenclature ICPE : Installation de stockage de déchets non dangereux et non inertes.

Parallèlement au stockage des résidus asséchés au sein de la verse Lucy, le projet prévoit de maintenir le parc à résidus KO2 opérationnel pendant toute la durée de construction de la verse Lucy.

Il est donc primordial d'actualiser l'étude de dangers du parc à résidus KO2 en tenant compte de la construction de la verse Lucy.

0.1 Phasage considéré dans l'analyse des risques

L'analyse des risques concerne le parc à résidus KO2 et la verse Lucy, en tenant compte des phases suivantes :

- Phase des travaux préparatoires : analyse des risques du parc à résidus KO2 à l'état actuel (avant confortement) ;
- Phase de confortement : analyse des risques du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy à la fin de la phase 7 de construction de la verse ;
- Phase finale : analyse des risques du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy en phase finale de construction de la verse ;

- Phase de fermeture : analyse des risques du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy après fermeture et réhabilitation des deux ouvrages.

0.2 Méthodologie adoptée pour l'analyse des risques

0.2.1 Etapes de l'analyse des risques

L'analyse des risques est menée en cinq étapes :

- 1- Identification des potentiels de dangers : Il s'agit de l'identification des potentiels de dangers liés au parc à résidus et à la verse Lucy. Le but est d'identifier les événements redoutés potentiels qui seront étudiés lors de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) ;
- 2- Modélisation des phénomènes dangereux : Une étude de propagation des résidus et/ou du surnageant est fournie pour les scénarios de rupture du barrage KO2 et de la verse. L'étendue des zones submergées fait l'objet d'une représentation cartographique à une échelle adaptée pour chacun des accidents étudiés. Les principales caractéristiques des phénomènes utiles à l'analyse sont : l'emprise, la hauteur de submersion, la cinétique (temps d'arrivée et vitesse).
- 3- L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) : L'analyse préliminaire des risques dresse un inventaire le plus exhaustif possible des modes de défaillance de l'ouvrage et de ses organes de sécurité pour toutes les conditions d'exploitation et pour toutes les phases de construction afin d'identifier les Evénements Redoutés Centraux (ERC) qui feront l'objet d'une Analyse Détaillée des Risques (ADR).

L'Événement Redouté Central (ERC) est l'événement qui sera à l'origine de la libération des éléments potentiellement dangereux produisant des phénomènes impactant pour les humains et l'environnement. Les ERC traduisent généralement une perte d'intégrité d'un équipement ou un ouvrage, pouvant avoir des conséquences sur le milieu naturel, sur le plan humain ou encore sur les objectifs de production.

Les différentes étapes pour la conduite de l'APR sont les suivantes :

- L'identification des modes de défaillance de chaque élément de l'ouvrage, dans différentes conditions données, et des événements initiateurs associés. Cette identification s'appuie sur l'analyse fonctionnelle des ouvrages ;
- La description des conséquences directes et indirectes des défaillances. Les modes de défaillance ayant des conséquences directes sont retenus en tant qu'Événement Redouté Central (ERC). Les modes de défaillance ayant des conséquences indirectes sont retenus en tant qu'événement initiateur d'un événement redouté central ;
- L'évaluation du risque humain et environnemental « brut » (sans inclure la décote des Mesures de Maîtrise des Risques existantes, « MMR ») ;

- L'évaluation du risque humain et environnemental « résiduel » (en incluant la décote des MMR existantes). Cette évaluation permet de sélectionner les scénarios et les ERC retenus dans l'ADR : ceux se situant dans une zone de risque résiduel environnemental et/ou humain « intermédiaire » ou « inacceptable ».
- 4- Analyse Détaillée des Risques (ADR) : L'Analyse Détaillée des Risques (ADR) poursuit et complète l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) pour les scénarios sélectionnés à l'étape de l'APR. L'ADR consiste à établir les arbres de défaillances pour ces scénarios. Une représentation synthétique de ces arbres est réalisée par la méthode du nœud papillon. **Un nœud papillon regroupe sur un même graphique les différents scénarios qui comprennent un même ERC.** Un scénario donné peut être lu à partir du logigramme en nœud papillon en suivant une branche unique depuis la partie gauche du graphique (arbre de défaillances) jusqu'à son extrémité droite (arbre d'événements).

Le schéma suivant illustre les principales notions techniques :

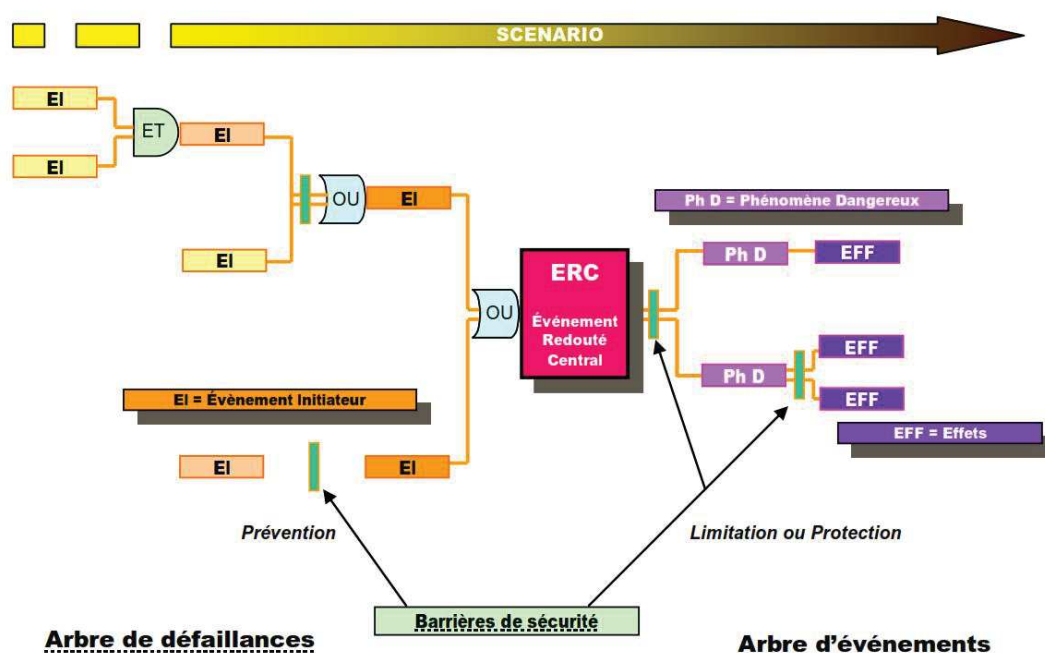


Figure 1 : Nœud papillon

- 5- Une synthèse avec classement des scénarios retenus en ADR en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leurs conséquences sera enfin réalisée.

0.2.2 Mesures de Maitrises des Risques (MMR)

Les MMR, également appelées « barrières » dans l'arrêté du 3 septembre 2018, désignent les éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.

Une MMR peut être classées en 2 catégories distinctes, selon le rapport d'étude Oméga 20 d'INERIS :

- ➔ MMR ou barrière de « vérification » : Ce type de MMR vise à réduire la probabilité du risque (soupape, ronde, surveillance, etc.). Ces barrières sont présentes dans l'arbre des causes des nœuds papillons c'est-à-dire en amont de l'événement redouté (fuite, crue extrême, etc.) ;
- ➔ MMR ou barrière de « rattrapage » : Ce type de MMR vise à réduire la gravité du scénario et lutter contre les sur-accidents (arrêt d'urgence, moyens de lutte contre l'incendie, etc.). Ces barrières sont placées en aval de l'évènement redouté dans les nœuds papillons (exemple : détection gaz et fermeture automatique d'une vanne).

Tableau 1 : Tableau de référence des MMR existantes, de leur fonction et de leur décote

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
MMRT et MMRI (Mesures de Maitrise des Risques Techniques et Instrumentées) :					
1	Ensemble des équipements d'auscultation du parc à résidus et TARP	Permet d'alerter en amont du scénario afin de mettre en oeuvre les actions prévues dans le TARP (Trigger Action Response Plan) et ce afin de contrôler la situation dangereuse et éviter le scénario, ou d'alerter la population et le personnel afin d'évacuer la zone. Cet ensemble comprend les CPI, les repères de tassements, les plots topographiques, les inclinomètres/extensomètres, les suivis bathymétriques, des débits, des MES, des conductivités et des géophones (vibrations en cas de tir à proximité du barrage).	-1	0	0
2	Logiciel PI process book	Permet de suivre le process de traitement (paramètres pH, Q entrant, Q sortant, pourcentage	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
		solide, consommation d'acide...) des résidus et mettre en place des actions correctives en cas d'anomalie (exemple : arrêt de l'usine en cas de perte de contrôle)			
3	Contrôle PCS (process control system) et automatisation de la séquence de pompage, Logiciel PI	En cas de défaillance, des alertes sont visibles sur le contrôle PCS et des messages d'alerte sont envoyés sur les portables des personnes responsables. Le suivi du pompage est visible directement sur le logiciel PI process book	-1	0	0
4	BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers	Conformément aux BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers : Maintien du système de monitoring et de son suivi en place durant l'exploitation et adaptation au type de plan de fermeture, et pour une durée dépendant des enjeux humains et environnementaux et du risque résiduel	-1	0	-1
5	Evacuateur de crues	Conception pour évacuer une crue Q1 000 000 et ainsi conserver les conditions de stabilité de l'ouvrage	-1	0	0
6	1 pompe de secours sur groupe	Maintenir un débit de pompage en cas de défaillance d'une ou plusieurs pompes électriques	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
	électrogène et 1 motopompe de secours installées au niveau du puits de pompage aval				
7	1 pompe de secours installée au niveau de la barge de pompage	Maintenir un débit de pompage en cas de défaillance d'une ou plusieurs pompes électriques	-1	0	0
8	Enrochement au niveau de l'exutoire du drain 206 sud	Eviter l'érosion du pied aval du barrage au niveau de l'exutoire du drain horizontal sud	0	0	0
9	Ensemble des équipements d'auscultation du projet Lucy et TARP	Permet d'alerter en amont du scénario afin de mettre en œuvre les actions prévues dans le TARP (Trigger Action Response) et ce afin de contrôler la situation dangereuse et éviter le scénario, ou d'alerter la population et le personnel afin d'évacuer la zone. Cet ensemble comprend les CPI, les repères de tassements, les plots topographiques, les inclinomètres /extensomètres, le suivi des débits, des MES, des conductivités	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
10	Evacuateur de crues provisoire du bassin des eaux de contact Nord	Conception pour évacuer la crue Q1000 ans, et ainsi éviter le débordement du bassin nord et des conditions de stabilité de l'ouvrage.	-1	0	0
11	Evacuateur de crues définitif du bassin des eaux de contact central	Conception pour évacuer la crue Q1000 ans, et ainsi éviter le débordement du bassin central et des conditions de stabilité de l'ouvrage.	-1	0	0
12	Deuxième géomembrane à la base des bassins des eaux de contact	Le système d'étanchéité des bassins est constitué d'une double géomembrane entre laquelle est intercalée une couche de géocomposite de drainage.	-1	0	0
13	Système de détection des fuites des bassins des eaux de contact	Le système de détection de fuites est connecté à la couche de géocomposite de drainage et constitué par des drains en enrochements pourvus d'une conduite crépinée. Ces drains débouchent dans des puisards et les eaux collectées sont renvoyées vers les bassins des eaux de contact.	0	-1	0
14	Vanne au niveau des bassins des	Le transfert des eaux de contact des bassins nord et sud vers le bassin central se fait gravitairement.	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
	eaux de contact Nord et Sud	Deux vannes de contrôle sont installées entre les bassins nord et sud et le bassin central. Ces vannes permettent de réguler le transfert des eaux vers le bassin central.			
15	Pompes de secours au niveau des bassins des eaux de contact Nord et central	Maintenir un débit de pompage en cas de défaillance d'une ou plusieurs pompes électriques	-1	0	0
MMRH (Mesures de Maitrise des Risques Humaines/ organisationnelles) :					
16	Inspection journalière et maintenance	Les inspections et travaux de maintenance permettent d'éviter la défaillance d'un élément de l'ouvrage et l'occurrence d'un scénario provoqué par un EI spécifique	-1	0	0
17	Inspection hebdomadaire et maintenance		-1	0	0
18	Inspection et entretien des conduites de drainage sous la géomembrane par purge et par curage	<p>Les inspections et entretiens des conduites permettent d'éviter le colmatage, la perte de fonction du système de drainage et l'impossibilité de réaliser l'inspection les conduites.</p> <p>Procédure de purge : « PRO-14001-LUCY »),</p> <p>Procédure de curage</p> <p>Vidéo inspection réalisée 1 fois tous les 2 ans.</p>	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
19	PAU, POI, Dispositif ORSEC aménagement hydraulique	Réduire la gravité des conséquences humaines par évacuation de la zone d'onde de submersion. Pour cela sont mis en place : des panneaux d'information aux limites d'entrée de la zone de submersion et 8 sirènes d'alerte à la population.	0	0	-1
20	Inspection post-séisme dans les 24h puis 2 semaines après	Permet de constater d'éventuelles anomalies suite à un séisme et mettre en place des actions correctives/ travaux de remise en état.	0	0	0
21	Inspection spéciale	Permet de constater d'éventuelles anomalies suite à un incident et/ou un évènement naturel extrême et mettre en place des actions correctives/ travaux de remise en état.	0	0	0
22	BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers	Conformément aux BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers : Maintien du système organisationnel en cas d'accident en place durant l'exploitation et adaptation au plan de fermeture, et pour une durée dépendant des enjeux humains et environnementaux et du risque résiduel (POI maintenu).	-1	0	-1

0.2.3 Evaluation de la probabilité d'occurrence d'un scénario

La probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et des accidents potentiels est évaluée à l'aide de l'échelle réglementaire définie par l'arrêté du 29 septembre 2005. Elle est présentée au tableau suivant :

Tableau 2 : Echelle de probabilité (arrêté du 29 septembre 2005)

Classes de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative	Evénement possible mais extrêmement peu probable	Evénement très improbable	Evénement improbable	Evénement probable	Evénement courant
	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	S'est déjà produit et/ou peut se reproduire pendant la durée de vie de l'installation	S'est produit sur site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices
Semi quantitative	Echelle intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative permettant de prendre en compte les mesures de maîtrise des risques mises en place				
Quantitative (par unité et par an)	$P < 10^{-5}$	$10^{-5} \leq P < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq P < 10^{-3}$	$10^{-3} \leq P < 10^{-2}$	$P \geq 10^{-2}$

Il est à noter que la méthode qualitative est appliquée dans le cadre de la phase d'analyse préliminaire des risques.

0.2.4 Evaluation de la gravité des conséquences humaines et environnementales d'un scénario

Le niveau de gravité d'un accident est directement fonction des conséquences qu'il engendre. Dans le cas du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy, ces conséquences sont principalement humaines et/ou environnementales.

- Conséquences humaines

La grille d'évaluation de la gravité des conséquences humaines réglementaire adaptée aux ICPE (arrêté du 29/09/2005) n'étant pas utilisable en l'état pour les scénarios du parc à résidus et de la verse, elle a été adaptée en tenant compte des pratiques internationales. Cette grille adaptée a été jugée plus représentative des conséquences liées à un accident survenant sur le barrage et sur la future verse Lucy et a été validée avec PRNC.

La grille utilisée pour l'évaluation de la gravité des conséquences humaines est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers

Niveau de gravité	Commentaire
5 – Désastreux	Plusieurs morts
4 – Catastrophique	1 mort et/ou plusieurs blessures graves engendrant des incapacités de travail permanentes
3 – Important	Blessures engendrant des arrêts de travail et potentiellement une incapacité
2 – Sérieux	Blessures pouvant engendrer des arrêts de travail mais pas d'incapacité
1 – Modéré	Pas d'impact sur les personnes

- Conséquences environnementales

La grille utilisée pour l'évaluation de la gravité des conséquences environnementales est présentée dans le tableau ci-dessous. A l'instar de la grille de gravité des conséquences humaines, la grille de gravité des conséquences environnementales a été adaptée en tenant compte des pratiques internationales et a été validée par PRNC.

Tableau 4 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers

Niveau de gravité	Description
5 – Désastreux	Déversement catastrophique entraînant une contamination des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines à l'échelle régionale et nécessitant des travaux majeurs de réhabilitation/dépollution. Suspension ou perte des arrêtés d'autorisation d'exploiter.
4 – Catastrophique	Déversement important entraînant une contamination des sols et des eaux dans une zone protégée. La contamination se répand au-delà du lieu de l'incident, avec des répercussions à l'échelle locale. La réhabilitation demande des investigations et des projets/travaux lourds de réhabilitation/dépollution.
3 – Important	Déversement entraînant une contamination des sols et des eaux. La contamination est contenue à proximité du lieu de l'incident. La réhabilitation demande des investigations et des projets/travaux de réhabilitation/dépollution.
2 – Sérieux	Fuite entraînant une contamination des sols et des eaux. La contamination est contenue au lieu de l'incident. La fuite peut être intégralement gérée par le personnel de l'opération et requiert des travaux minimes de réhabilitation.
1 - Modéré	Fuite en faible quantité, entraînant des actions correctives minimes et immédiates. Impact minime sur l'environnement.

0.2.5 Evaluation de la cinétique d'un scénario

La cinétique d'un scénario correspond à la durée nécessaire pour aboutir à l'atteinte des éléments vulnérables par le phénomène de danger, depuis l'événement initiateur à l'apparition de l'événement redouté et la propagation de ses effets. Selon l'arrêté du 29 sept 2005, la cinétique est qualifiée de :

- Lente, si dans le contexte du scénario, le délai permet la mise en place de MMR suffisantes, dans le cadre d'un plan d'urgence, pour protéger les personnes exposées à l'extérieur des installations objet du plan d'urgence avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du scénario ;
- Rapide, si au contraire il n'est pas possible de mettre en place des MMR avant que le scénario n'atteigne les personnes à l'extérieur du site.

Cette cinétique est évaluée qualitativement en fonction des moyens mis en place afin d'anticiper la survenue du scénario et du délai de détection des événements initiateurs.

0.2.6 Matrice des risques

A partir du niveau de gravité et de la probabilité du scénario déterminé, le scénario est classé dans l'une des zones de la matrice des risques issue de la circulaire du 10 mai 2010 et présentée dans le guide méthodologique de PRNC.

Tableau 5 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers

Gravité des conséquences		Probabilité d'occurrence des scénarios provoqués par un EI spécifique				
		E	D	C	B	A
		Extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Désastreuses	5	MMR Rang 2	NON	NON	NON	NON
Catastrophiques	4	MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON	NON	NON
Importantes	3	MMR Rang 1	MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON	NON
Sérieuses	2			MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON
Modérée	1					MMR Rang 1

La matrice de risque retenue définit trois niveaux de risque :

- Une zone de risque élevé, figurée en **rouge** avec le mot « **NON** » : risque inacceptable.
- Une zone de risque intermédiaire, figurée en **jaune** « **MMR Rang 1** » et **orange** « **MMR Rang 2** » : Pour qu'un scénario classé dans cette zone soit tolérable, il doit être justifié que les mesures de maîtrise des risques mises en place sont performantes. La gradation des cases " MMR " en " rangs ", correspond à un risque croissant, depuis le rang 1 jusqu'au rang 2. Cette gradation correspond à la priorité que l'on peut accorder à la réduction des risques, en s'attachant d'abord à réduire les risques les plus importants (rangs les plus élevés).

- **Une zone de risque moindre**, en **vert**, sans mention « NON » ou « MMR » : risque acceptable.

Seuls les scénarios classés en zones jaune (« MMR Rang 1 »), orange (« MMR Rang 2 ») et rouge (« NON ») seront concernés par l'ADR. Les scénarios classés en zone verte sont considérés comme acceptables et ne nécessitent pas de MMR supplémentaires et d'ADR.

0.3 Identification des potentiels de dangers

Les principaux potentiels de dangers considérés pour le parc à résidus KO2 et la verse Lucy, sont liés :

- À la stabilité et aux mécanismes de rupture susceptibles de se produire ;
- À la nature des résidus stockés et des effluents générés pouvant affecter l'environnement.

Les sources potentielles de dangers identifiées sont listées ci-dessous :

- Le barrage KO2 et la verse sujets à risque de rupture ;
- Les bassins des eaux de contacts sujets à risque de rupture ;
- Les résidus stockés à l'intérieur du parc à résidus et dans la verse pouvant affecter l'environnement ;
- Les eaux de contact stockées dans les bassins des eaux de contact ;
- Les ouvrages de gestion des eaux du parc à résidus et de la verse, sujets à risque de dysfonctionnement ;
- Les conduites de transport des résidus, du surnageant et des eaux de contact, sujets à risque de perte de confinement.

0.4 Modélisation de rupture du barrage KO2 et de la verse Lucy

Les ouvrages et les phases concernés par la réalisation de modélisations sont les suivants :

- Barrage KO2 à l'état actuel (avant la phase de confortement) ;
- Barrage KO2 après la phase de confortement (fin de phase 7) ;
- Verse Lucy à la fin de la phase 7 de confortement du barrage ;
- Verse Lucy en phase finale et post-fermeture.

Pour chaque ouvrage étudié, une simulation de rupture est réalisée selon chaque mode de rupture identifié.

Les modes de rupture modélisés pour le barrage KO2 sont :

- Rupture par glissement ;
- Rupture par débordement ;
- Rupture par phénomène de piping.

Les modes de rupture modélisés pour la verse Lucy sont :

- Rupture par glissement ;
- Rupture par phénomène de piping ;
- Rupture par liquéfaction statique.

Les résultats des modélisations sont présentés en Annexe O.

0.5 Synthèse de l'analyse des risques

0.5.1 Analyse préliminaire des risques

L'analyse préliminaire des risques a permis d'identifier 18 ERC retenus pour l'ADR.

Il s'agit des ERC suivants :

Tableau 6 : ERC retenus dans l'ADR

Phase de construction	ERC retenu pour l'ADR
Phase des travaux préparatoires	Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires
	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires
	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires.
Phase de confortement	Rupture du barrage (phase de confortement)
	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)
	Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)

Phase de construction	ERC retenu pour l'ADR
	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
	Rupture de la verse (phase de confortement)
	Envol de poussières de résidus (phase de confortement)
	Rupture du bassin des eaux de contact Nord (phase de confortement)
Phase finale	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase finale)
	Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)
	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)
	Rupture de la verse (phase finale)
	Envol de poussières de résidus (phase finale)
	Rupture du bassin des eaux de contact Nord (phase finale)
Phase de fermeture de la verse	Rupture de la verse (phase de fermeture)

0.5.2 Analyse détaillée des risques

L'ADR a été réalisée en se basant sur la méthode de Nœud papillon.

Un nœud papillon regroupe sur un même graphique les différents scénarios d'accidents qui comprennent un même ERC.

La représentation des ERC et des différents scénarios est présentée en Annexe Q.

Les 18 scénarios d'accident ayant fait l'objet d'une ADR sont présentés dans le tableau ci-dessous. Leurs zones de risque résiduel humain et environnemental, suite à la réduction des risques par les

moysens de maitrise des risques existants (MMR), sont également indiquées. Les scénarios sont classés en fonction de leur criticité, le scénario n°1 étant le plus critique.

Tableau 7 : Tableau de synthèse des scénarios de l'ADR

N°	Scénario	Zone de risque env.	Zone de risque humain
1	Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires	5D	4D
2	Rupture du barrage (phase de confortement)	5E	4E
3	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires	3D	3D
4	Rupture de la verse (phase finale)	4E	4E
5	Rupture de la verse (phase de confortement)	4E	4E
6	Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)	4E	4E
7	Rupture d'un bassin des eaux de contact (phase finale)	4E	4E
8	Rupture de la verse (phase de fermeture)	4E	4E
9	Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires	3E	3E
10	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires	3E	3E
11	Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue du parc à résidu humide (phase de confortement)	3E	3E
12	Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)	3E	3E
13	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)	3E	3E
14	Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue du parc à résidu humide (phase finale)	3E	3E

N°	Scénario	Zone de risque env.	Zone de risque humain
15	Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)	3E	3E
16	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)	3E	3E
17	Envol de poussières de résidus (phase de confortement)	2C	1C
18	Envol de poussières de résidus (phase finale)	2C	1C

0.5.3 Etude de réduction des risques

0.5.3.1.1 Risque humain

Le positionnement des scénarios sur la matrice des risques humains est représenté ci-dessous.

Tableau 8 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques humains

Gravité des conséquences		Probabilité d'occurrence des scénarios provoqué par un EI spécifique				
		E	D	C	B	A
		Extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Désastreuses	5					
Catastrophiques	4	2,4, 5,6,7 et 8	1			
Importantes	3	9,10,11,12,13,14,15 et 16	3			
Sérieuses	2					
Modérée	1			17 et 18		

Les scénarios 17 et 18 présentent des risques humains classés en zone de risque « verte », c'est-à-dire des risques dit « moindres », il s'agit des scénarios suivants :

17 Envol de poussières de résidus (phase de confortement)

18 Envol de poussières de résidus (phase finale)

Le risque humain lié à ces scénarios est jugé acceptable et ne nécessite pas de mesures supplémentaires.

Les 15 scénarios suivants présentent des risques humains classés en zone de risque « jaune », c'est-à-dire des risques dit « intermédiaires » :

2 Rupture du barrage (phase de confortement)

3 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires

4 Rupture de la verse (phase finale)

5 Rupture de la verse (phase de confortement)

6 Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)

7 Rupture d'un bassin des eaux de contact (phase finale)

8 Rupture de la verse (phase de fermeture)

9 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires

10 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires

11 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase de confortement)

12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)

13 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)

14 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase finale)

15 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)

16 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)

Le scénario 1 : Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires présente des risques humains classés en zone de risque « Orange ».

Compte tenu des MMR existantes en termes de mesures techniques et instrumentées (« MMRI ») et de mesures humaines et organisationnelles (« MMRH ») mises en œuvre afin de gérer les risques humains liés à ces scénarios, ces risques sont jugés **tolérables**.

0.5.3.1.2 Risque environnemental

Le positionnement des scénarios sur la matrice des risques environnementaux est représenté ci-dessous :

Tableau 9 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques environnementaux

Gravité des conséquences		Probabilité d'occurrence des scénarios provoqué par un EI spécifique				
		E	D	C	B	A
		Extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Désastreuses	5	2	1			
Catastrophiques	4	4,5,6,7 et 8				
Importantes	3	9,10,11,12,13,14,15 et 16	3			
Sérieuses	2			17,18		
Modérée	1					

16 scénarios présentent des risques environnementaux classés en zone de risque « jaune », c'est-à-dire des risques dit « intermédiaires » :

- 2 Rupture du barrage (phase de confortement)
- 3 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
- 4 Rupture de la verse (phase finale)
- 5 Rupture de la verse (phase de confortement)
- 6 Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)
- 7 Rupture d'un bassin des eaux de contact (phase finale)

- 8 Rupture de la verse (phase de fermeture)
- 9 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires
- 10 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires
- 11 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)
- 12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase de confortement
- 13 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
- 14 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase finale)
- 15 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)
- 16 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)
- 17 Envol de poussières de résidus (phase de confortement)
- 18 Envol de poussières de résidus (phase finale)

Compte tenu des MMR existantes en termes de mesures techniques et instrumentés (« MMRI ») et de mesures humaines et organisationnelles (« MMRH ») mises en œuvre, ces risques sont jugés tolérables.

Le scénario 1, qui présente des risques environnementaux classés en zone rouge, jugés inacceptables, concerne l'accident de rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires ayant une durée de 2 ans. Une fois le barrage conforté (scénario 2), le risque de rupture du barrage diminue puis s'annule une fois la verse finalisée.

1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1 Présentation du Maître d'Ouvrage (Exploitant de l'Ouvrage)

L'arrêté provincial spécifique au site n° 1466-2008/PS du 9 octobre 2008 émis par la Province Sud de la Nouvelle Calédonie autorise l'exploitation d'une aire de stockage de résidus et de deux cellules de suivi sur le site de la Kwé Ouest par la société Goro Nickel S.A.S.

L'arrêté provincial n°3690-2017/ARR/DIMENC du 29/11/2017 autorise l'exploitation d'une usine d'assèchement de résidus et un stockage de déchets issus du procédé hydro-métallurgique (Projet Lucy) sur le site de la Kwé Ouest par la société Vale Nouvelle Calédonie S.A.S.

En 2008, l'exploitant du parc à résidus KO2 devient Vale Inco Nouvelle-Calédonie S.A.S. (renommé Vale Nouvelle-Calédonie S.A.S. en 2010). Depuis 2021, l'exploitant est Prony Resources New Caledonia (appelé « PRNC » dans le reste du document).

PRNC est une société par actions simplifiée française dont le capital social est, à la date de la présente demande, détenue par Trafigura Pte Ltd pour 19 %, la Compagnie Financière de Prony pour 30%, la Société de Participation Minière du Sud Calédonien pour 30% et la Fidal Fiducie pour 21%.

Le siège de PRNC est situé à Paris. Le principal produit qu'elle commercialise est le Nickel Hydroxyde Cake (NHC).

L'usine de PRNC est implantée sur la commune du Mont-Dore au lieu dit Prony Est. La mine à proprement parler est située sur le plateau de Goro, localisé sur la commune de Yaté.

• Dénomination et raison sociale

Société :	Prony Resources Nouvelle-Calédonie S.A.S
Forme juridique :	Société par Actions Simplifiée
Capital social :	1.203.259.108,55 Euros
	n° 313 954 570 RCS Paris
Registre du commerce :	RCS Nouméa n°82 B 085 696
	RIDET Nouvelle -Calédonie n° 085696.009

• Représentant légal

Présidente :

L'activité principale exercée est la 'Métallurgie des autres métaux non ferreux' qui correspond dans la nomenclature d'activité française au code APE 24.45 Z.

- **Contacts**

Siège social	31 rue de Courcelles 75008 Paris, France
Établissement secondaire	Usine du Grand Sud, Route de Kwa Neïe, Prony 98810 Mont-Dore – Nouvelle-Calédonie
Téléphone	Nouméa (+687) 23 50 00
Télécopieur	Nouméa (+687) 27 37 10
Adresse du site	Usine du Grand Sud, route de Kwa Neïe Prony 98810 Mont-Dore
Téléphone	(687) 35.20.00
Télécopieur	(687) 35.20.01

1.2 Présentation du bureau d'études réalisant l'étude de dangers

La société PRNC a missionné Mecater Ingénierie pour l'élaboration de l'étude de dangers du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy.

MECATER Ingénierie est un bureau d'ingénierie, fondé en 1997, opérant dans plusieurs pays dans le domaine de l'ingénierie de l'infrastructure industrielle et minière.

MECATER Ingénierie exerce ses métiers dans les domaines suivants : aménagements hydrauliques, routes et infrastructures, mines et industries et environnement.

Les informations identifiant le bureau d'études sont les suivantes :

Raison Sociale :	MECATER Ingénierie
Adresse :	Immeuble Alizé, zone d'activité Kheireddine 2015 - El Kram, Tunisie
Téléphone :	+216 71 180 022 ; Fax : +216 71 180 021
Mail :	contact@mecater.com
Premier responsable :	

1.3 Cadre réglementaire et administratif

1.3.1 Cadre réglementaire

L'étude de dangers a pour objectifs de caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques liés à l'ouvrage. Elle doit permettre de mieux appréhender les risques auxquels l'ouvrage peut exposer la population en cas d'accident, que la cause soit externe ou interne à l'ouvrage.

L'étude de dangers doit notamment préciser l'ensemble des mesures de maîtrise des risques prises, qui réduisent le risque pour l'ouvrage ainsi que son environnement naturel et humain.

La présente étude concerne le parc à résidus KO2 et la verse Lucy.

Cette étude se réfère aux prescriptions et normes suivantes :

- ➔ Code de l'Environnement de la province Sud de la Nouvelle-Calédonie – M39 du 23 avril 2019, notamment les prescriptions des articles 412-1 et 413-4 du Livre IV relatif aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (Chapitre III – Installations soumises à autorisation et à autorisation simplifiée) ;
- ➔ Arrêté du 3 septembre 2018, qui modifie l'arrêté du 12 juin 2008, définissant le plan de l'EDD des barrages et en précisant le contenu (appelé « arrêté du 03/09/2018 » dans le reste du rapport) ;
- ➔ Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages ;
- ➔ Arrêté du 18 février 2010 précisant les catégories et critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance ;
- ➔ Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;
- ➔ Arrêté du 22 février 2002 pris en application du décret n° 92-997 du 15 septembre 1992 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques ;
- ➔ Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 ;
- ➔ INERIS – Rapport d'étude 11/12/2013 – DRA-13-133733-13062A - Référentiel pour la réalisation d'une EDD relative aux conduites forcées principales et aux matériels annexes ;
- ➔ Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages.
- ➔ Guidelines on Tailings Dams, Planning, Design, Construction, Operation and Closure (ANCOLD 2019): The Australian National Committee on Large Dams.

1.3.2 Autres démarches réglementaires

La conception du parc à résidus KO2 ainsi que les exigences techniques pour sa construction ont fait l'objet d'un Dossier Définitif de Consultation du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH) soumis en juillet 2005 puis d'un Dossier Complémentaire au Dossier Définitif soumis en juillet 2008.

Ces dossiers ont respectivement reçu un avis favorable du CTPBOH en date du 25 octobre 2005, puis en date du 21 octobre 2008.

L'exploitation du parc à résidus a été autorisée par l'arrêté provincial n° 1466-2008 du 9 octobre 2008, émis par la Province Sud de la Nouvelle Calédonie. Cet arrêté autorise l'exploitation du parc à résidus en tant qu'installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) en raison de sa fonction de stockage de déchets issus de l'usine hydrométallurgique (rubrique 2720 de la nomenclature ICPE).

Un arrêté provincial spécifique au site a été émis en décembre 2013. Il s'agit de l'arrêté HC/CAB/DSC/n°1331 du 03/12/13 portant sur les diverses mesures relatives à l'aléa « rupture de barrage ». Conformément à l'arrêté, le barrage KO2 est soumis à l'application du Plan Particulier d'Intervention (PPI) grands barrages du 01/03/12 impliquant la réalisation d'une étude de dangers au moins tous les 10 ans (et qui en définit le plan et le contenu) et la réalisation d'une revue de sûreté de l'ouvrage, 5 ans après sa mise en exploitation, puis tous les 10 ans.

La première étude de dangers a été réalisée en 2007. Une seconde étude de dangers a été réalisée par Artelia en 2014. Cette étude de dangers a ensuite été actualisée par Golder en 2020.

Une première revue de sûreté réglementaire a également été réalisée en 2016 par le bureau d'études Tractebel.

Le barrage KO2 est classé en fonction de ses caractéristiques dimensionnelles en barrage de classe A, suivant le classement des barrages défini par le décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques, modifiant le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007.

Toute modification substantielle apportée sur le barrage KO2 est donc soumise à l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH), conformément à l'article R214-120-1 du code de l'environnement.

Dans le cadre du projet, les travaux de modifications substantielles apportées sur le barrage KO2 concernent la réalisation de la verse Lucy, permettant le stockage des résidus asséchés contre le talus aval ainsi que le confortement du barrage KO2.

Cette présente étude de dangers est donc annexée au dossier de demande d'avis au CTPBOH concernant la construction de la verse Lucy.

La construction de la verse Lucy a été autorisée par l'arrêté provincial n°3690-2017/ARR/DIMENC du 29/11/2017, émis par la Province Sud de la Nouvelle Calédonie. Cet arrêté autorise la construction de la verse sous la rubrique 2760 de la nomenclature ICPE : Installation de stockage de déchets non dangereux et non inertes.

A la date de rédaction du présent document, PRNC dispose des autorisations par arrêtés provinciaux spécifiques au site d'exploiter les ICPE suivantes sur la zone concernée par le projet Lucy :

- ➔ Parc à résidus KO2 - arrêté n°1466-2008/PS du 09 octobre 2008 ;
- ➔ Usine DWP1 (Dewatering Plant 1) - arrêté n°1194-2017/ARR/DIMENC du 11 avril 2017 ;
- ➔ Verse DWP1 - arrêté n°1056-2017/ARR/DIMENC du 11 avril 2017 ;
- ➔ Projet Lucy - arrêté n°3690-2017/ARR/DIMENC du 29 avril 2017 ;
- ➔ Projet d'enfouissement des cendres de combustion de la centrale Prony Energie- arrêté n°4316-2018/ARR/DIMENC.

1.4 Cadre administratif dans lequel l'étude de dangers est réalisée

La présente étude de dangers concerne le parc à résidus KO2 et la verse Lucy qui va assurer le confortement du barrage KO2 par le stockage des résidus asséchés contre le talus aval.

Les travaux de construction de la verse Lucy sont considérés comme des travaux de modifications substantielles apportés sur le barrage KO2. Dans ce cadre, il est considéré que l'étude de dangers, objet du présent rapport, correspond au cas n°2 décrit dans la section 1 de l'annexe de l'arrêté du 03/09/2018, repris ci-dessous :

- ➔ *Cas n° 1 : l'EDD est jointe à une demande d'autorisation ou d'approbation initiale de barrage ;*
- ➔ **Cas n° 2 : l'EDD est jointe à une demande d'autorisation ou d'approbation nouvelle d'un barrage existant en raison des travaux qui y sont prévus ;**
- ➔ *Cas n° 3 : l'EDD est actualisée conformément à l'article R. 214-117-II du code de l'environnement, décrit ci-dessous :*
 - *A compter de la date de réception par le préfet de la première EDD de l'ouvrage concerné, l'EDD est actualisée et transmise au préfet tous les dix ans pour les barrages, systèmes d'endiguement et aménagements hydrauliques qui relèvent de la classe A, tous les quinze ans pour ceux qui relèvent de la classe B et tous les vingt ans pour ceux qui relèvent de la classe C. Lorsqu'elle se rapporte à une conduite forcée, l'EDD est actualisée et transmise au préfet tous les dix ans.*
- ➔ *Cas n° 4 : cas complémentaire à l'un des cas 1 à 3 susvisés prévoyant que l'analyse des risques contenue dans l'EDD soit également utilisée par le maître d'ouvrage pour les besoins de l'établissement d'un plan particulier d'intervention conformément à l'article R. 741-34 du code de la sécurité intérieure.*

2 OBJET DE L'ETUDE DE DANGERS

2.1 Contexte

Le Complexe Industriel de PRNC est situé à cheval sur les communes de Yaté et Mont Dore, dans la Province Sud de la Nouvelle Calédonie.

Ce complexe est composé d'une mine de nickel, d'une usine hydrométallurgique de traitement du minerai, d'un parc à résidus et d'un port.

PRNC produit, pour chaque tonne de minerai traité, environ 1,3 tonne de résidus humides. Ces résidus, une fois traités et neutralisés, sont stockés dans un bassin de stockage situé dans la haute vallée de la Kwé Ouest à 3 kilomètres au Nord de l'Usine de traitement du minerai et à 5 kilomètres à l'Ouest de la Mine (Cf. Figure 2). Le bassin de stockage des résidus est fermé par un barrage dénommé barrage KO2, formant ensemble le parc à résidus KO2.

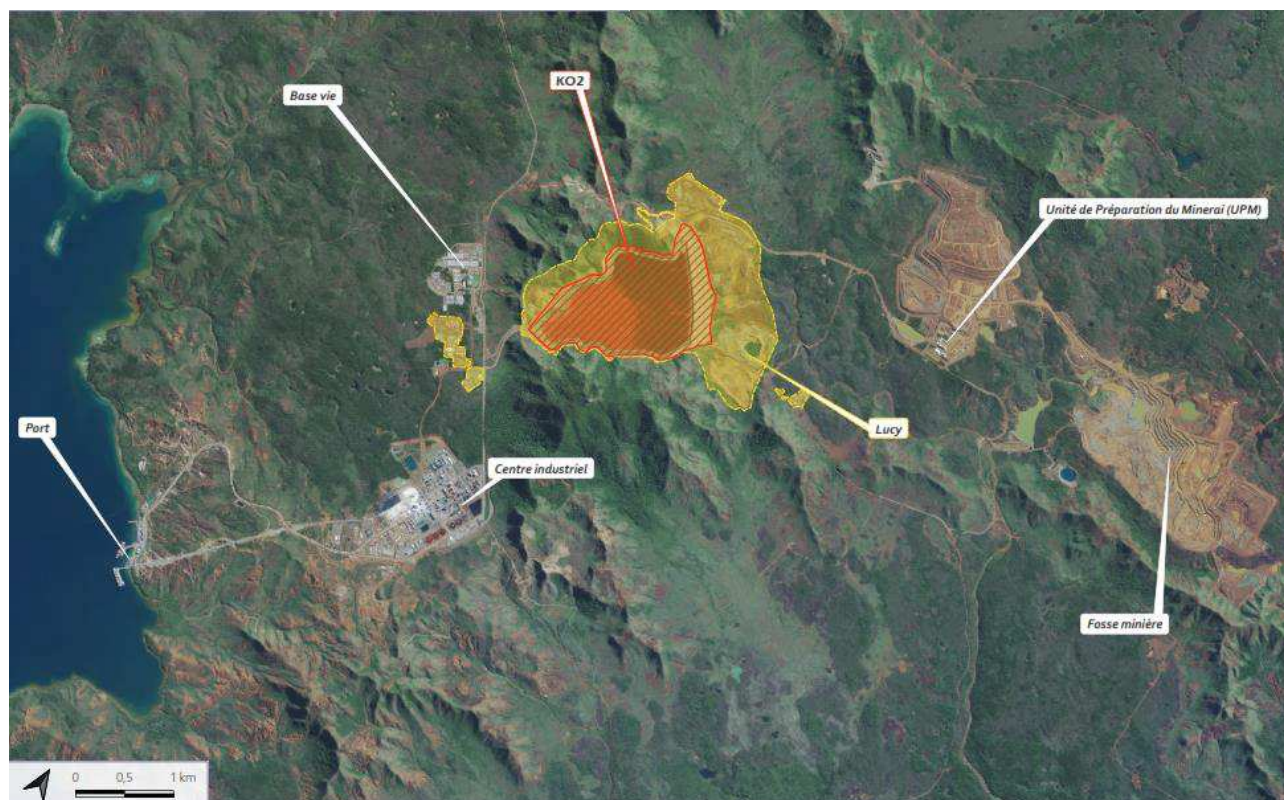


Figure 2 : Localisation du projet (GEOs4D 2022)

Selon les estimations actuelles, la capacité maximale du parc à résidus KO2 serait atteinte en août 2025.

L'exploitation du complexe industriel de la mine de Goro nécessite donc de créer de nouvelle zone de stockage des résidus pour pouvoir continuer son activité dans le futur.

Afin d'étendre la durée de vie du parc à résidus sur l'ensemble de la durée de vie de la mine (LOM – Life of Mine estimée à 2044), il est proposé à travers le projet Lucy, d'assécher les résidus

afin d'optimiser les possibilités de stockage, par densification des résidus (diminution du volume) à stocker pour augmenter la durée de vie du bassin de stockage actuel [24] et d'étendre avec la verse Lucy la capacité du stockage en aval du barrage.

Le projet implique la construction d'une usine de filtration des résidus (dénommée DWP2) à proximité du parc à résidus KO2. Une fois asséché jusqu'à environ 73% de solide (pourcentage massique), le résidu acquiert une structure proche de celle d'un sol pouvant être placé et compacté pour former une verse stabilisée [24], appelée la verse Lucy.

La verse Lucy sera construite à l'aval immédiat du barrage KO2 en assurant à la fois le stockage des résidus asséchés produits par l'usine de filtration DWP2 et le confortement du barrage KO2 pour répondre à une problématique d'évolution des facteurs de sécurité recommandés par l'ANCOLD vis-à-vis de la stabilité du barrage KO2 en conditions non drainées et en conditions post sismiques.

2.2 Objectifs de l'étude de dangers

L'étude de dangers a pour but de caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques liés à la construction de la verse. .

L'étude s'articule autour des éléments principaux suivants :

- ➔ L'identification des risques (risques liés à la vie humaine et à l'environnement) à l'intérieur de l'installation étudiée et à l'extérieur ainsi que l'évaluation des effets d'accidents ;
- ➔ La justification des mesures de maîtrise des risques visant à limiter la probabilité d'occurrence d'accidents et/ou réduire leurs conséquences, technologiquement réalisables et économiquement acceptables.

2.3 Périmètre de l'étude

Le périmètre de l'étude comprend l'aménagement actuel du parc à résidus KO2 et la future verse Lucy avec ses ouvrages associés.

Actuellement, le parc à résidus KO2 comprend les éléments suivants :

- ➔ Le barrage KO2 ;
- ➔ Le bassin de stockage des résidus étanché par géomembrane ($V = 45 \text{ Mm}^3$ autorisé) comprenant les zones de dépôts des résidus sous forme de boue dont les eaux se concentrent dans le bassin de décantation ;
- ➔ Un évacuateur de crues à surface libre en rive gauche ;
- ➔ Un coursier en rive droite permettant l'évacuation des eaux de ruissellement du flanc Sud collectées par le drain de dérivation du flanc sud ;
- ➔ Des conduites de transfert des résidus depuis l'usine vers le parc à résidus KO2 ;

- ➔ Une conduite de transfert des eaux depuis le parc à résidus KO2 vers l'usine avec un système de pompage sur barge ;
- ➔ Un réseau de drains sous la géomembrane permettant de collecter et évacuer les eaux vers 4 conduites traversant la fondation du barrage et dont les exutoires se situent en pied aval du barrage au niveau du puits du pompage aval ;
- ➔ Un puits de pompage aval permettant de pomper les eaux collectées vers le bassin de stockage KO2 ou vers l'usine de préparation du minerai (UPM) ;
- ➔ Un réseau de drains latéraux horizontaux à exutoires libres (au niveau de la banquette sud à la cote 206,5 et au niveau de la banquette nord à la cote 220) qui traversent le barrage au niveau de ses appuis sud et nord ;
- ➔ Un système de 3 drains de pied en aval du barrage (fossés) permettant de collecter les eaux provenant du système de drainage interne au barrage (tapis drainant) ainsi que les eaux pluviales ruisselant sur le parement aval de l'ouvrage. Un puisard de reprise permet de renvoyer ces eaux dans le puits de pompage aval ;
- ➔ Un dispositif d'auscultation de l'ouvrage.

La verse Lucy comprend les éléments suivants :

- ➔ Les casiers de stockage des résidus asséchés ;
- ➔ Les renforts internes et externes permettant de délimiter les casiers ;
- ➔ Le système de drainage des sous écoulements ;
- ➔ La barrière étanche ;
- ➔ Le système de collecte des eaux de percolation (lixiviats) ;
- ➔ Le système d'auscultation ;
- ➔ Le bassin des eaux de contact Nord ;
- ➔ Le bassin des eaux contact Central ;
- ➔ Le bassin des eaux de contact Sud.

3 ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE ET DE SON ENVIRONNEMENT

Ce chapitre présente une description détaillée du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy.

3.1 Description du parc à résidus KO2 et analyse fonctionnelle interne

Le rapport annuel d'exploitation (2021)[64], le manuel OES du parc à résidus KO2[10], l'étude de dangers du parc à résidus KO2 (Golder 2020)[63], l'Examen Technique Complet (Golder 2021) [65] , les visites techniques approfondies de 2021[66]et 2022 [72] sont pris en compte comme référence pour la description de l'ouvrage et l'analyse fonctionnelle interne.

Dans le cadre de ses activités d'exploitation de la mine de nickel du plateau de Goro, PRNC utilise le parc à résidus KO2 pour stocker les résidus humides qui correspondent aux déchets solides issus de l'affinage du minerai. Ces déchets sont acheminés depuis l'usine dans le parc à résidus sous forme de pulpe.

L'exploitation du parc à résidus a débuté en décembre 2008. La déposition des résidus humides dans le parc à résidus KO2 est toujours en cours.

Le parc à résidus comprend les éléments suivants (cf. Figure 3) :

- ➔ Le barrage KO2 ;
- ➔ Le bassin de stockage des résidus ;
- ➔ L'évacuateur de crues dont la construction, actuellement en cours, s'achèvera en 2023 (hors chenal de restitution qui sera finalisé en 2024) ;
- ➔ Les systèmes de drainage du parc à résidus :
 - Réseau de drainage sous la géomembrane ;
 - Drains de pied aval du barrage (Nord, Central, Sud) ;
 - Drains horizontaux de sous-banquettes (206,5 Sud et 220 Nord) ;
 - Les stations de décharge sur les talus ;
 - Drains de dérivation des eaux de ruissellement en surface (Nord et Sud).
- ➔ Le puits de pompage aval ;
- ➔ Les canalisations de transfert des résidus de l'usine vers le bassin ;
- ➔ Le système de pompage du surnageant à partir de la barge du bassin de stockage ;
- ➔ La canalisation de transfert des eaux surnageantes du bassin vers l'usine ;
- ➔ Deux cellules d'essais qui ont été supprimées en septembre 2021 et ne font plus partie de l'aménagement ;
- ➔ Le système d'auscultation.

La localisation de ces éléments figure sur la Figure 3. Un reportage photographique représentatif de l'état actuel du parc à résidus KO2 est consultable en Annexe A. Les plans de l'ensemble du système d'auscultation de l'ouvrage est consultable en Annexe B.

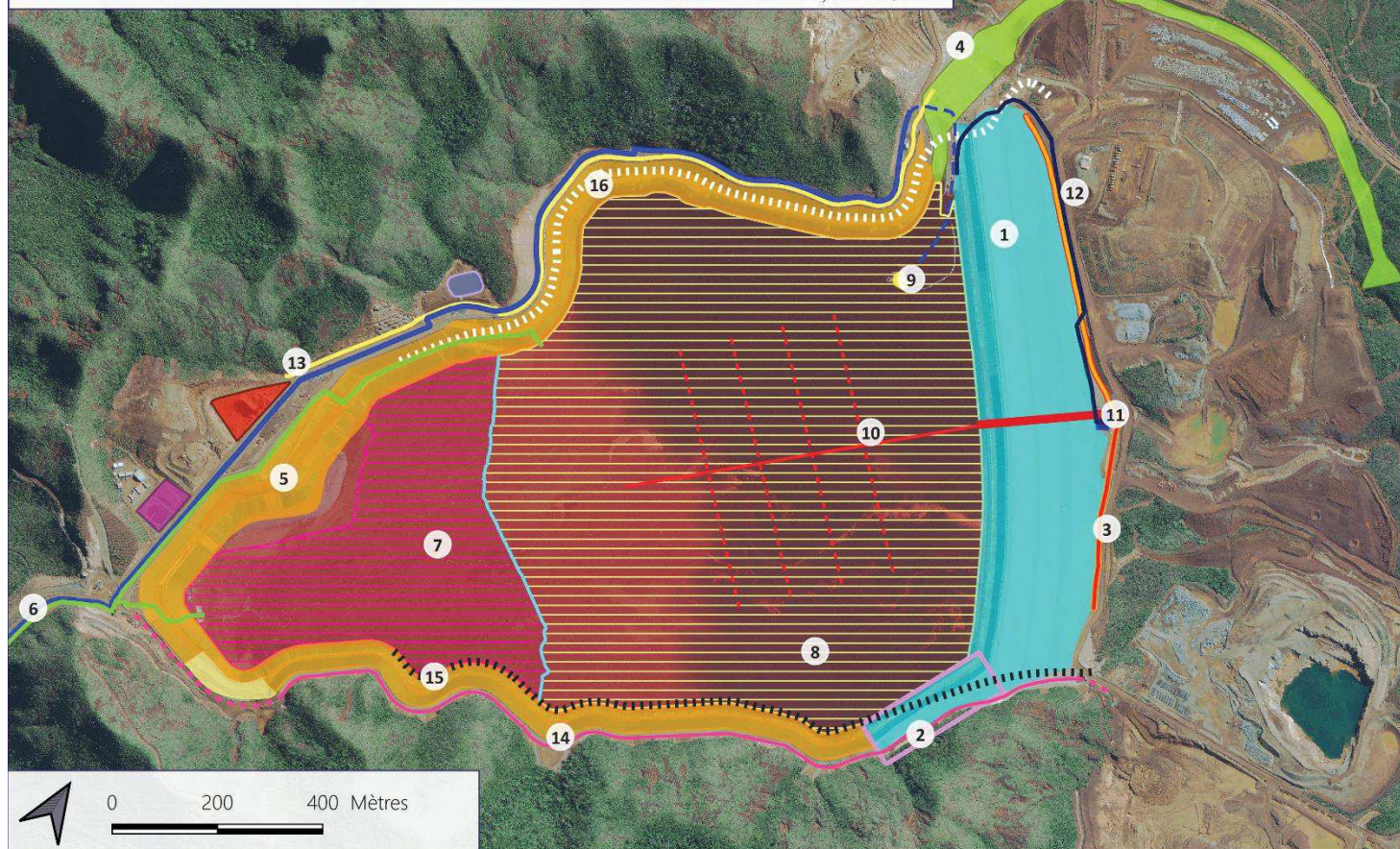
Vue d'ensemble des ouvrages constitutifs du parc à résidus KO2

GEOAD

Numéro de projet :
1671587- 6200

Informations :
Dessinateur :
Réviseur :
Date : 17/06/2022
Version : 1
Nombre de page : 1 / 2
Réalisation : QGIS 3.22.2

Références :
Système de coordonnées :
RGNC91-93
Fond : Prony Resources, 2021



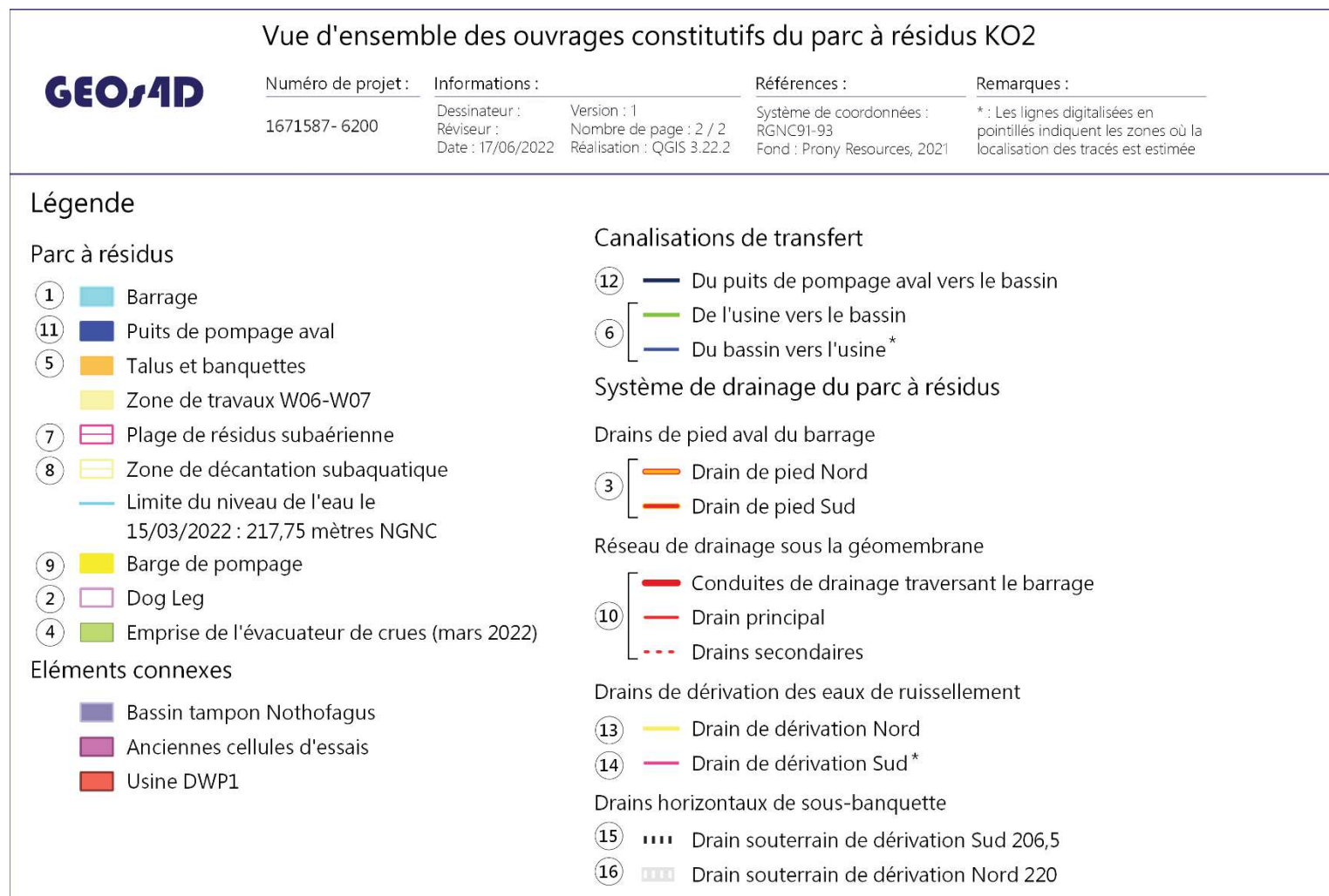


Figure 3 : Vue d'ensemble des ouvrages constitutifs du parc à résidus KO2 (Source : GEOs4D)

Ces éléments sont présentés dans les paragraphes suivants :

3.1.1 Le barrage KO2

Le barrage KO2 est un ouvrage poids en remblai zoné avec un parement amont étanché par une géomembrane en PEBDL (Polyéthylène Basse Densité Linéaire). Il est constitué de latérites compactées et de matériaux rocheux et mesure 63 m de hauteur et 1 325 m de longueur en crête.

Il comprend en rive droite une partie en retour, appelée « dog leg » mise en place pour éviter une espèce d'arbres endémique et protégée « Planchonella Latihila ». En rive gauche, le barrage s'appuie sur un éperon rocheux le séparant de l'évacuateur de crues.

De manière plus détaillée, le barrage KO2 appartient à la catégorie des digues construites par étapes avec un cœur amont. Il a donc été construit en différentes étapes, puis développés vers l'aval. Le cœur est composé de latérite compactée, de faible perméabilité.

La construction du barrage a démarré en novembre 2005 et a duré 11 ans. Elle a été scindée en deux étapes :

- ➔ La première étape, comprenant la construction du batardeau et la construction du barrage jusqu'à la cote 220 m, a été finalisée en 2015[13]. La déposition dans le bassin de stockage a débuté dès décembre 2008 [10] ;

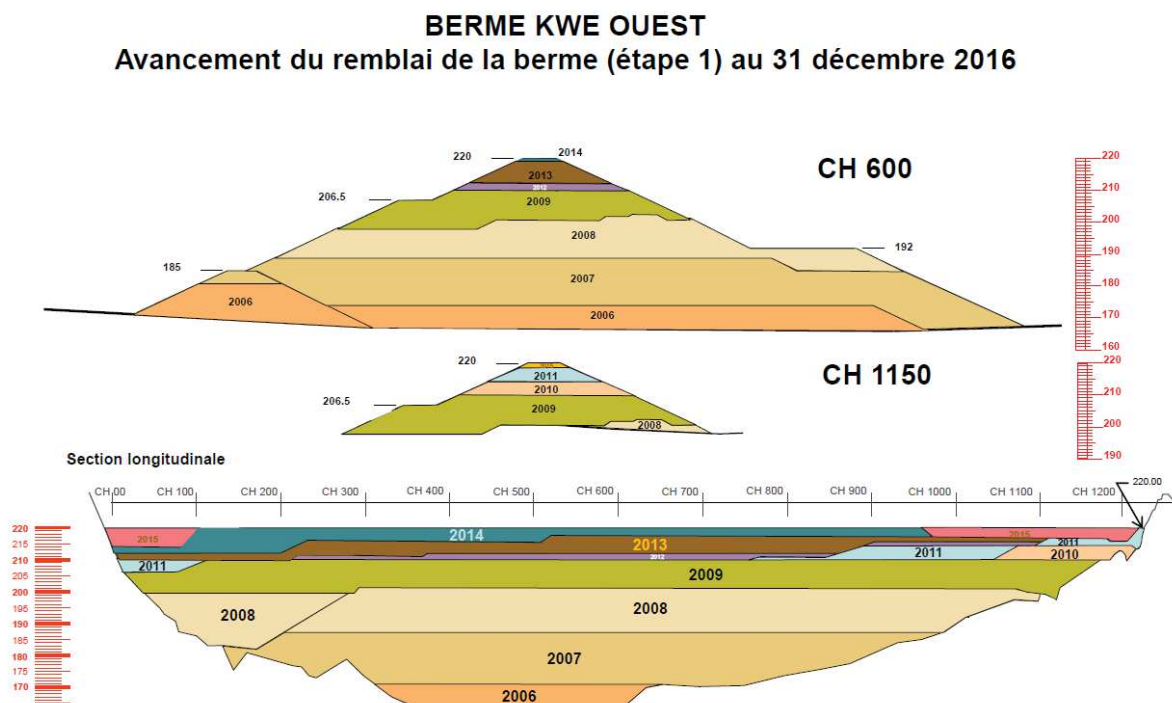


Figure 4 : Première étape de construction du barrage KO2

➔ La deuxième étape, comprenant la construction jusqu'à la cote finale de 232 m, a été concomitante avec l'exploitation du parc à résidus et a démarré en 2012 pour s'achever en 2016 (hors l'évacuateur de crues) [13].

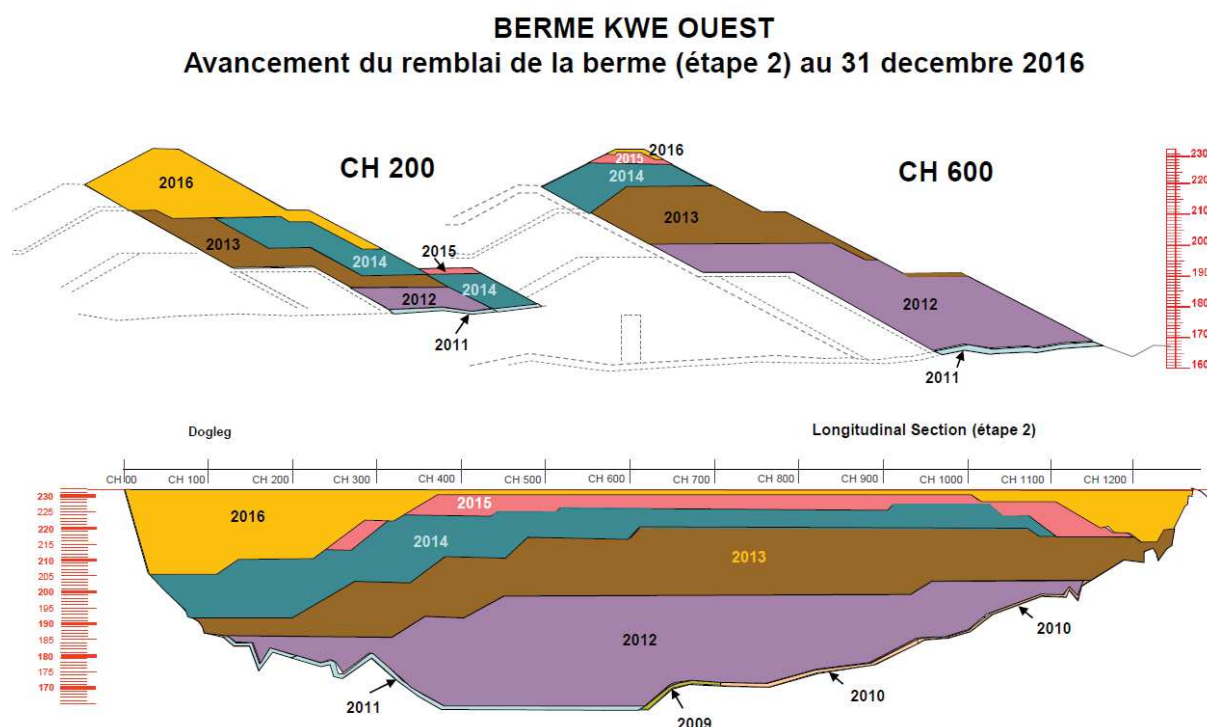


Figure 5 : Deuxième étape de construction du barrage KO2

Le barrage KO2 est également muni d'une cheminée drainante connectée à un tapis drainant, construit à la base du barrage, au contact du terrain naturel. Ce système drainant a pour but d'empêcher l'installation d'une nappe d'eau au sein du barrage.

Le corps du barrage est constitué de 7,8 Mm³ de matériaux répartis comme suit (cf. Figure 6) :

- ➔ Une partie amont constituée de latérite compactée (couche de 20 m) agissant comme barrière étanche secondaire ;
- ➔ Une partie centrale et aval construites en couches horizontales de latérite alternant avec des couches horizontales d'enrochements ;
- ➔ Une cheminée drainante composée de matériaux rocheux concassés et enveloppés dans un géotextile anti-contaminant. Cette couche est située en aval de la couche de latérite compactée et est connectée au tapis drainant ;
- ➔ Un tapis drainant de 60 cm d'épaisseur placé à la base du barrage et recouvrant toute l'emprise du barrage hormis le batardeau initial. Il collecte les eaux provenant de la cheminée drainante et d'éventuelles autres infiltrations dans le barrage ainsi que les eaux souterraines en cas de remonté du niveau de la nappe puis les dirige vers les drains de pied en aval. Ce système permet de dissiper les pressions interstitielles et éviter la création d'une nappe dans le corps du barrage..

Zonages du barrage KO2 au chainage 500 :

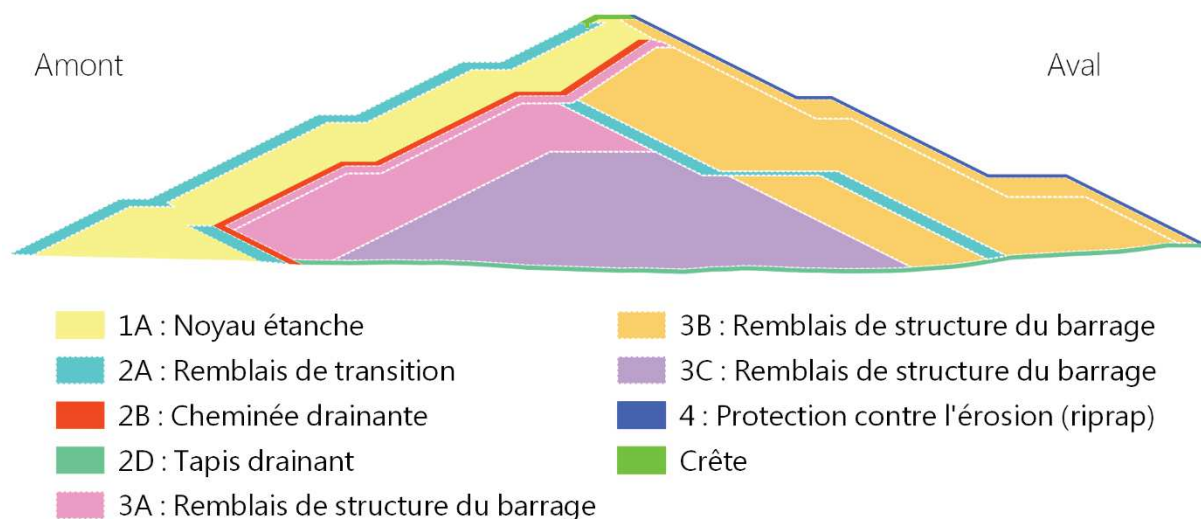


Figure 6 : Coupe schématique du barrage (GEOs4D,2022)

3.1.2 Le bassin de stockage des résidus

Cette section détaille la conception du bassin de stockage, notamment la zone de décantation et la plage de dépôt. Elle expose ensuite les conditions du bassin de stockage : son bilan de déposition et son bilan hydrique.

- Conception du bassin de stockage

La superficie du bassin de stockage est de 130 ha. Il a été dimensionné afin d'y entreposer 45 Mm³ de résidus miniers provenant de l'usine hydrométallurgique (sur la base des hypothèses retenues au moment de la conception).

Le fond et les flancs du bassin de stockage sont recouverts d'une géomembrane PEBDL (Polyéthylène Basse Densité Linéaire) d'une épaisseur de 1,5 mm sur la totalité de sa surface. Avant la mise en œuvre de la géomembrane sur le fond du parc à résidus, la fondation a fait l'objet d'une préparation comprenant le défrichage, l'excavation de la cuirasse de fer et la mise en place d'une couche de latérite compactée d'1 m d'épaisseur lorsque nécessaire ou le compactage de la latérite en place lorsque présente. La fondation du bassin de stockage est constituée par une couche de latérite pouvant localement atteindre 30 m d'épaisseur. Cette formation se situe au-dessus d'une épaisseur de saprolite, qui se situe au-dessus du substratum rocheux.

Les flancs du parc à résidus n'excèdent pas une pente 2H / 1V.

En mars 2023, les talus de l'ensemble du parc à résidus sont recouverts de géomembrane jusqu'à leur sommet. La portion de 170 m, localisée sur le talus Sud au droit de la réserve de la forêt Nord (zone W06/W07) et qui était en cours de travaux, a été finalisée.

Le bassin de stockage est composé de deux zones distinctes : la zone de décantation subaquatique et la plage de résidus subaérienne. En fonction du niveau d'eau dans le parc à résidus, leur emprise spatiale est variable.

- La zone de décantation :

Cette zone est représentée sur la photographie aérienne datant de novembre 2021 (Cf. Figure 7) et se situe globalement au nord-est du bassin de stockage. Son étendue actuelle est visible dans le reportage photographique de l'état actuel de du parc, présenté en Annexe A.

La dépose des résidus dans le bassin de stockage suit un plan de déposition qui a été défini lors de la conception de l'aménagement et révisé en 2014 puis en 2020 et 2021. Ce plan de déposition assure l'existence d'un point bas, recueillant la fraction liquide de la pulpe de résidus (une fois sédimentée) et une partie des eaux de ruissellement, formant le « surnageant » ou eau libre.

Le pompage du surnageant se fait de manière à maintenir une profondeur d'eau minimale permettant de maximiser la surface de résidus exposés au soleil. Par ailleurs, le maintien du niveau d'eau du bassin sous une certaine cote permet de répondre aux critères de dimensionnement de l'ouvrage vis-à-vis du stockage des crues.



Figure 7 : Vue aérienne du parc à résidus KO2 en direction de l'Est (23 novembre 2021)

- La zone de dépôt (ou « plage de dépôt »)

Les paramètres de modélisation de la plage des résidus ainsi que la description des éléments de design sont détaillés dans le rapport de Golder de 2007 [26].

Des revues du plan de déposition ont été réalisées en 2014 [11], en 2020 et enfin en 2021 [67].

D'après le manuel OES [10], les résidus produits par l'Usine du Grand Sud sont rejetés dans le bassin de stockage sous forme de pulpe. Cette pulpe est acheminée par des conduites de transfert jusqu'au point de déposition afin d'être déposée dans le parc à résidus. Au moment de la déposition, une séparation entre les résidus solides et l'eau de transport s'effectue, créant ainsi une plage de déposition et du « surnageant ».

Le pourcentage massique de solides de cette pulpe de résidus est de 20% en moyenne. Il est à noter que la valeur de pourcentage de solides à la conception (donc théorique) était de 43%. Le pourcentage réel est en deçà de la valeur théorique en raison des performances de l'usine et de son unité 285 de traitement des effluents liquides (Manuel OES,[10]).

Le Tableau 10 suivant synthétise les principales caractéristiques physiques des résidus :

Tableau 10 : Caractéristiques physiques des résidus humides

Caractéristiques	Valeurs	Unité
pH	7,5	NA
Densité spécifique des résidus	3,57	NA
Pourcentage de solides	20	m/m% (pourcentage massique)
Température	30-35	°C

Le diagramme ci-après indique la variabilité du pourcentage massique mensuel de la pulpe de résidus.

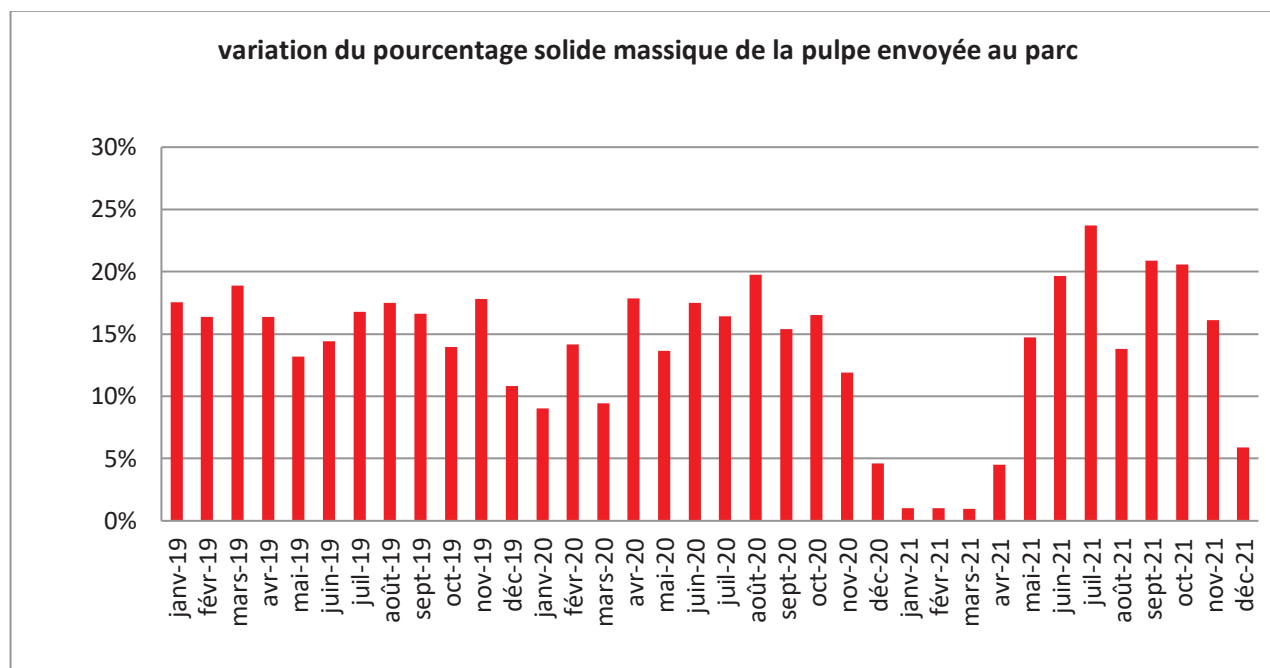


Figure 8 : Variations mensuelles du pourcentage solide massique de la pulpe [64]

Le graphique ci-dessous présente la composition des résidus :

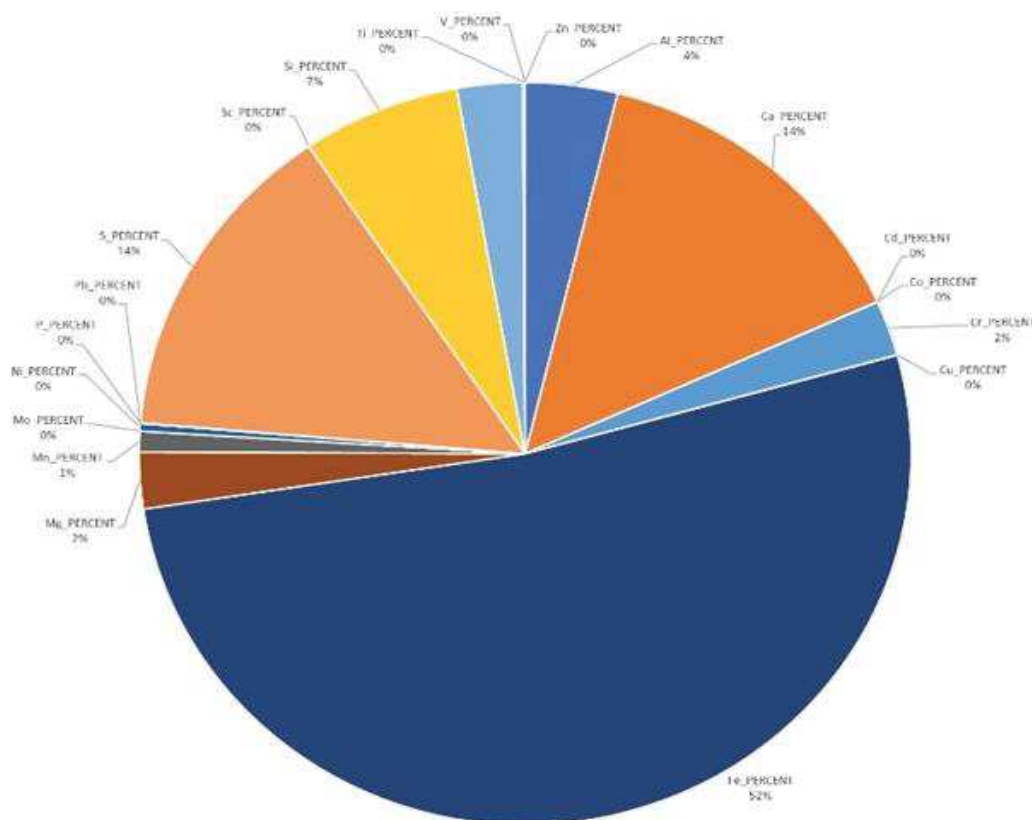


Figure 9 : Composition chimique des résidus

Le Tableau 11 montre la composition chimique moyenne des résidus entre 2014 et 2021.

Tableau 11 : Composition moyenne des résidus – 2014 à 2021 [64]

	Al (%)	Ca (%)	Cr (%)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	Ni (%)	S (%)	Si (%)
Moyenne 2021	2,00	10,48	1,36	27,17	1,48	0,48	0,28	7,89	3,97
Moyenne 2 ^{ème} semestre 2021	2,35	8,26	1,53	29,55	1,55	0,61	0,25	7,72	3,84
Moyenne 1 ^{er} semestre 2021	1,66	12,70	1,18	24,78	1,40	0,35	0,31	7,94	3,25
Moyenne annuelle 2020	2,17	8,54	1,47	29,88	1,28	0,58	0,20	7,94	4,23
Moyenne annuelle 2019	1,88	9,37	1,60	29,63	1,08	0,44	0,20	7,59	4,14
Moyenne annuelle 2018	2,03	9,01	1,69	30,93	0,85	0,45	0,19	7,37	3,38
Moyenne annuelle 2017	2,16	8,47	1,69	32,34	0,68	0,47	0,18	7,57	3,11
Moyenne annuelle 2016	2,25	8,65	1,59	30,32	1,10	0,75	0,24	7,77	3,92
Moyenne annuelle 2015	2,3	8,5	1,8	32,1	0,9	0,5	0,2	7,1	3,5
Moyenne annuelle 2014	2,1	8,6	1,6	30,8	1,6	0,8	0,25	6,8	3,1

Le tableau montre une stabilité de la composition des résidus.

- Plan de déposition

Les résidus ont été déposés à partir de plusieurs points de déposition, durant la vie de l'ouvrage. La Figure 10 ci-dessous localise ces points de déposition. Les points de déposition qui ont été les plus souvent utilisés sont les W05, S08 et N11.

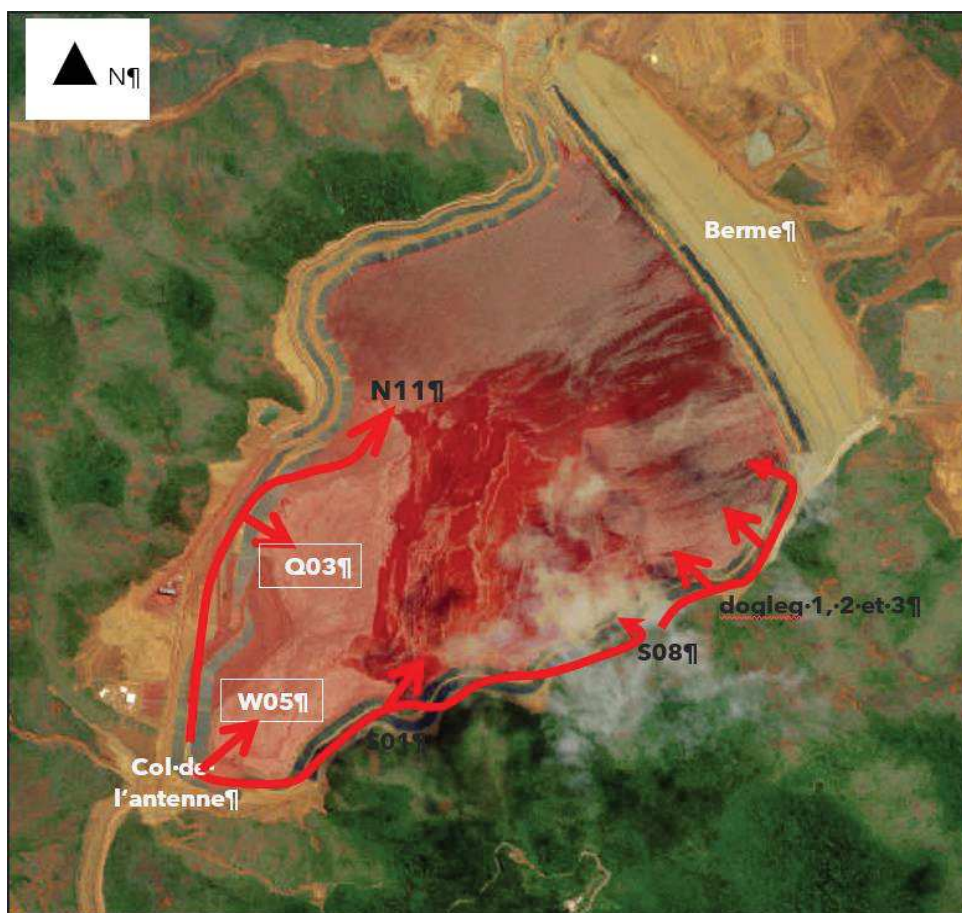


Figure 10 : Localisation des différents points de déposition dans l'aire de stockage

Depuis mars 2017, à la suite de la rupture de la ligne de déposition sud (de S01 à dogleg 3), le point de déposition W05 est majoritairement utilisé. Les différentes mises à jour du plan de déposition, réalisées depuis 2017, indiquent qu'il n'est pas nécessaire de réinstaller la ligne sud pour gagner en capacité de stockage.

Le point de déposition N11, localisé sur le flanc Nord, était principalement utilisé en cas de maintenance du point de déposition W05. Depuis fin 2019, le point de déposition N11 a été remplacé par le point Q03 qui est également utilisé en cas de maintenance sur le point de déposition W05.

- Bilan quantitatif de résidus déposés

Des levés bathymétriques à l'intérieur du bassin de stockage des résidus sont effectués tous les deux mois.

Les différents levés bathymétriques permettent de déterminer le volume de résidus déposés ainsi que la densité moyenne des résidus.

Ils permettent également de suivre l'évolution de la topographie de la plage de dépôt de résidus et d'adapter le plan de déposition en cas d'anomalie.

Le dernier levé bathymétrique, datant du 30 janvier 2023, est présenté en Annexe C.

Les principales données issues du dernier levé bathymétrique sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Données issues du levé bathymétrique en date du 30/01/2023

Désignation	Valeur
Cote du niveau d'eau	219,35 m NGNC
Cote min de la plage de résidus	212,47 m NGNC
Cote max de la plage de résidus	222.39 NGNC
Pente moyenne de la plage subaérienne	0,2%
Pente moyenne de la plage subaquatique	0,5%
Volume du surnageant	2,39 Mm ³

Au 31/12/2022, le volume de résidus stockés dans le bassin est de 28,9 Mm³ et la capacité résiduelle est estimée à 10,4 Mm³ (hors volume réservé à la crue centennale 10 jours et au volume d'eau du bassin opérationnel).

La déposition des résidus dans le parc à résidus doit prendre en compte certaines contraintes, à savoir :

- ➔ Maintenir un niveau d'eau minimum sous la barge de pompage afin de maintenir sa bonne opération et la continuité du pompage du surnageant ;
- ➔ Contenir, à l'intérieur du parc à résidus et en tout temps, le volume d'eau correspondant à une crue centennale pendant 10 jours ;
- ➔ Contenir le volume d'eau correspondant à une crue maximale probable à l'intérieur du bassin de stockage jusqu'à l'achèvement de l'évacuateur de crues. Cette contrainte n'est valable que jusqu'en 2023, année d'achèvement des travaux de l'évacuateur de crues.

Selon le plan de production de novembre 2022 et la bathymétrie de décembre 2022, la capacité maximale du parc à résidus sera atteinte en août 2025, sans tenir compte du projet Lucy.

Avec le projet Lucy, et en tenant compte d'un pourcentage de bypass de 10%, prévu en cas d'arrêt de l'usine DWP2 ou dans le cas d'incapacité de stockage des résidus asséchés en verse, la capacité maximale du parc à résidus sera atteinte en septembre 2040 (en considérant une production nominale de l'usine DWP2 à partir du mois de septembre 2023).

- Bilan hydrique

Le Tableau 13 ci-dessous, résume les différents termes mensuels du bilan hydrique global du bassin de stockage des résidus.

Les nombres en rouge et entre parenthèses correspondent à des nombres négatifs.

Ce bilan inclue les eaux provenant des circuits suivants :

➔ Eaux de procédés :

- Eau contenue dans la pulpe de résidus ;
- Eau interstitielle adsorbée aux résidus décantés ;
- Eau « surnageante » pompée vers l'unité 285 ;
- Eau pompée depuis le puits de pompage aval et envoyée soit vers le parc à résidus KO2, soit vers l'UPM pour utilisation dans le procédé.

➔ Drainage des installations :

- Drains sous la géomembrane du bassin de stockage ;
- Tapis drainants du barrage, relié à la cheminée drainante ;

➔ Pluies et ruissellements sur l'impluvium du parc à résidus (fossés de dérivation nord et sud).

Tableau 13 : Bilan hydrique global de l'aire de stockage de résidus de l'année 2021 [64].

2021 BILAN D'EAU DANS LE PARC À RÉSIDUS (toutes les valeurs en m³)	Eau dans la pulpe envoyée au parc	Eau interstitielle des résidus déposés (estimé)	Eau retournée vers l'Usine par la barge	Eau des drains sous la membrane pompée dans le parc	Ruissellement coulant dans le bassin du parc	Bilan mensuel
	+	-	-	+	+	=
Janvier	866 802	6 036	1 494 887	207 135	970 000	543 014
Février	768 330	5 349	1 334 791	177 620	520 000	125 810
Mars	616 682	4 120	939 125	55 516	120 000	(151 047)
Avril	842 512	27 260	1 312 866	206 080	790 000	498 466
Mai	1 180 555	140 535	1 215 377	166 469	685 000	676 112
Juin	1 070 362	180 547	1 298 751	32 391	(45 000)	(421 544)
Juillet	1 122 302	240 518	1 555 283	7 812	255 000	(410 687)
Août	1 251 177	138 009	1 608 888	4 361	195 000	(296 359)
Septembre	1 140 779	207 168	1 163 365	1 013	125 000	(103 741)
Octobre	1 110 238	198 444	1 411 473	10 363	340 000	(149 316)
Novembre	468 579	62 019	650 648	14 048	265 000	34 959
Décembre	850 314	36 884	1 328 073	67 808	680 000	233 165

Le graphique ci-dessous montre les diverses fluctuations mensuelles des termes du bilan hydrique sur l'ensemble de l'année 2021.

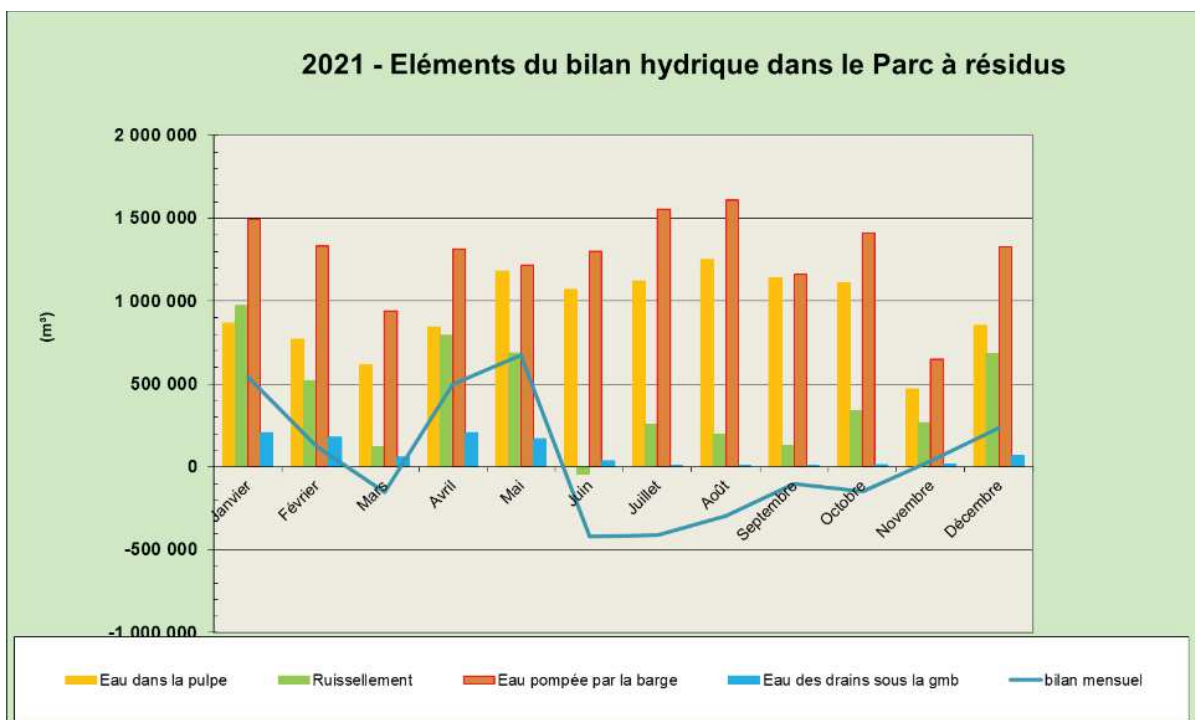


Figure 11 : Elément du bilan hydrique au cours de l'année 2021 [64]

L'évolution du volume d'eau libre est présentée sur la Figure 12. La hausse du volume d'eau libre est directement liée aux fortes précipitations lors de la saison humide.

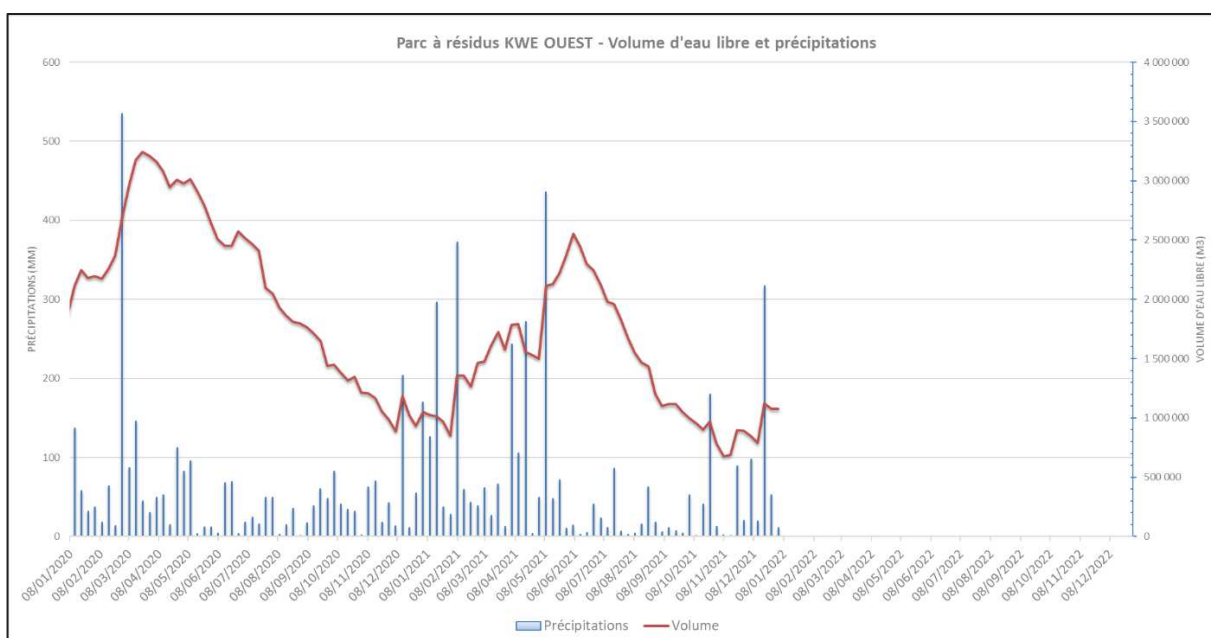


Figure 12 : Evolution du volume d'eau libre dans le parc à résidus KO2 en fonction des données pluviométriques [64]

La qualité des eaux suivantes est contrôlée :

➔ Les eaux du parc à résidus = surnageant (envoi vers l'usine de traitement des effluents 285) ;

- ➔ Les eaux de drainage collectées sous la géomembrane (envoi vers l'usine de traitement des effluents 285 ou vers l'UPM comme eau de procédé) ;
- ➔ Les eaux issues du système de drainage du barrage (envoi vers le puits de pompage aval puis vers l'usine de traitement des effluents 285 ou vers l'UPM) ;
- ➔ Les eaux souterraines en aval du barrage ;
- ➔ Les eaux des sources WK17 et WK20, localisées en aval du barrage. Il est noté que le suivi des sources WK17 et WK20 est suspendu depuis le début des travaux de terrassements du projet Lucy (septembre 2021).

3.1.3 Le dispositif d'étanchéité par géomembrane

Le surnageant provenant de la décantation des résidus humides ne rencontre pas les critères de rejet d'eau dans l'environnement. Un système de membrane étanche est installé au fond du bassin de stockage, sur les talus ainsi que sur la face amont du barrage afin de prévenir la contamination des eaux souterraines. Le système d'étanchéité a les rôles suivants :

- ➔ Assurer une barrière contre les infiltrations d'eaux interstitielles vers les eaux souterraines ;
- ➔ Contrôler le gradient hydraulique dans le corps et les fondations du barrage pour assurer sa stabilité et son intégrité.

L'étendue de la géomembrane couvre la totalité du bassin de stockage des résidus, jusqu'aux sommets des talus ainsi que la totalité de la face amont du barrage, soit une superficie projetée d'environ 140 ha.

Ce système d'étanchéité se décompose comme suit, du haut vers le bas :

- ➔ Une géomembrane de type PEBDL (polyéthylène à basse densité linéaire) de 1,5 mm d'épaisseur sur le fond et les talus du bassin de stockage et de 2 mm d'épaisseur sur la face amont du barrage ;
- ➔ La quasi-totalité du parc à résidus KO2 est équipé d'une géomembrane à surface lisse, seule celle au droit de la rampe d'accès à la barge de pompage est à surface texturée ;
- ➔ Une couche de latérite compactée de faible conductivité hydraulique (inférieure à 1.10^{-8} m/s), contrôlée en fonction du compactage effectué ;
- ➔ Un système de drainage intégré au sommet de la couche de latérite et constitué par des réseaux de drains divisés en différents secteurs (voir section 3.1.5). Ce système de drainage est mis en œuvre sur le fond du parc à résidus et est appelé réseau de drainage sous la géomembrane.

3.1.4 L'évacuateur de crues

Le parc à résidus est équipé d'un évacuateur de crues à seuil libre, taillé dans la roche en forme d'escalier et situé au niveau de l'appui Nord du barrage.

La conception initiale a été réalisée en 2005 par Golder. Dans cette conception, l'évacuateur de crues est creusé dans le substratum constitué, en majorité, de roche saine de forte résistance mécanique. Le coursier de l'évacuateur de crues est conçu en forme d'escalier composé de dix (10) niveaux de 11 m de longueur séparés par des talus verticaux de 2 à 4 m de hauteur. Cette conception a pour vocation d'assurer l'amortissement des vitesses d'écoulement au niveau de chaque gradin, réduisant ainsi l'effet érosif de l'eau lors des fortes crues.

Pendant la phase de construction du parc à résidus KO2, l'excavation de 09 marches sur 10 a été réalisée. En 2016, la construction de l'évacuateur de crues a été suspendue dans le cadre du développement du projet Lucy. Le projet Lucy ayant évolué au fur et à mesure, la construction de l'évacuateur de crues s'est finalement avérée nécessaire.

Dans ce contexte, une inspection détaillée des marches déjà construites a été effectuée et la conception initiale de l'évacuateur de crues a été revue par Mecater en 2021.

La conception optimisée de l'évacuateur de crues a fait l'objet d'un porter à connaissance instruit par la DIMENC entre juillet 2021 et juin 2022.

Les travaux de construction ont débuté en février 2022 et s'achèveront en 2023 (hors chenal de restitution qui sera finalisé en 2024).

La conception optimisée adoptée pour l'évacuateur de crues se présente comme suit (cf. Figure 13) :

- Largeur de l'évacuateur de crues : 70 m ;
- Le seuil est composé de :
 - Une section de contrôle en béton armé calée à la cote 229 m NGNC. Cette section fait 70 m de largeur, 5 m de longueur et 25 cm d'épaisseur. Cet ouvrage est ancré au sol par une bêche de 1,05 m de profondeur au niveau de sa limite amont ;
 - Un bassin en béton armé de longueur variable (de 5 à 10 m). La crête de ce bassin se situe à la cote 229 m alors que le fond se situe entre la cote 227 et 226 m. Le bassin est muni d'une ouverture de 20 m calée à la cote 226 permettant de restituer les eaux vers le canal central du coursier ;
- Coursier comportant 9 gradins de 10,15 m de longueur et 4 m de hauteur avec une pente de niveau de 78° pour chaque gradin et qui comprend deux sections différentes :
 - Une section centrale constituée par un canal de 20 m de largeur, aménagé en béton armé. Il est délimité de chaque côté par des murettes de 1 m de hauteur. Ce canal central permet de concentrer les écoulements de récurrence inférieure ou égale à la millénale ;

- Deux sections latérales, situées de part et d'autre du canal central et constituées par le terrain naturel, renforcé par des filets plaqués et du béton projeté lorsque cela est nécessaire. Au-delà de la crue millénale, le canal central déborde sur les sections latérales du coursier. Cela permet ainsi d'évacuer les crues sur toute la largeur de l'évacuateur et de maintenir la revanche hydraulique entre la cote des plus hautes eaux (PHEE = 230.9 m) et la crête du barrage KO2 (point bas de la crête situé au niveau du dogleg = 231.6 m).
- Bassin de dissipation en aval de longueur égale à 20 m ;
- Canal de restitution d'une longueur de 1,1 km et d'une largeur minimale à la base de 15 m.

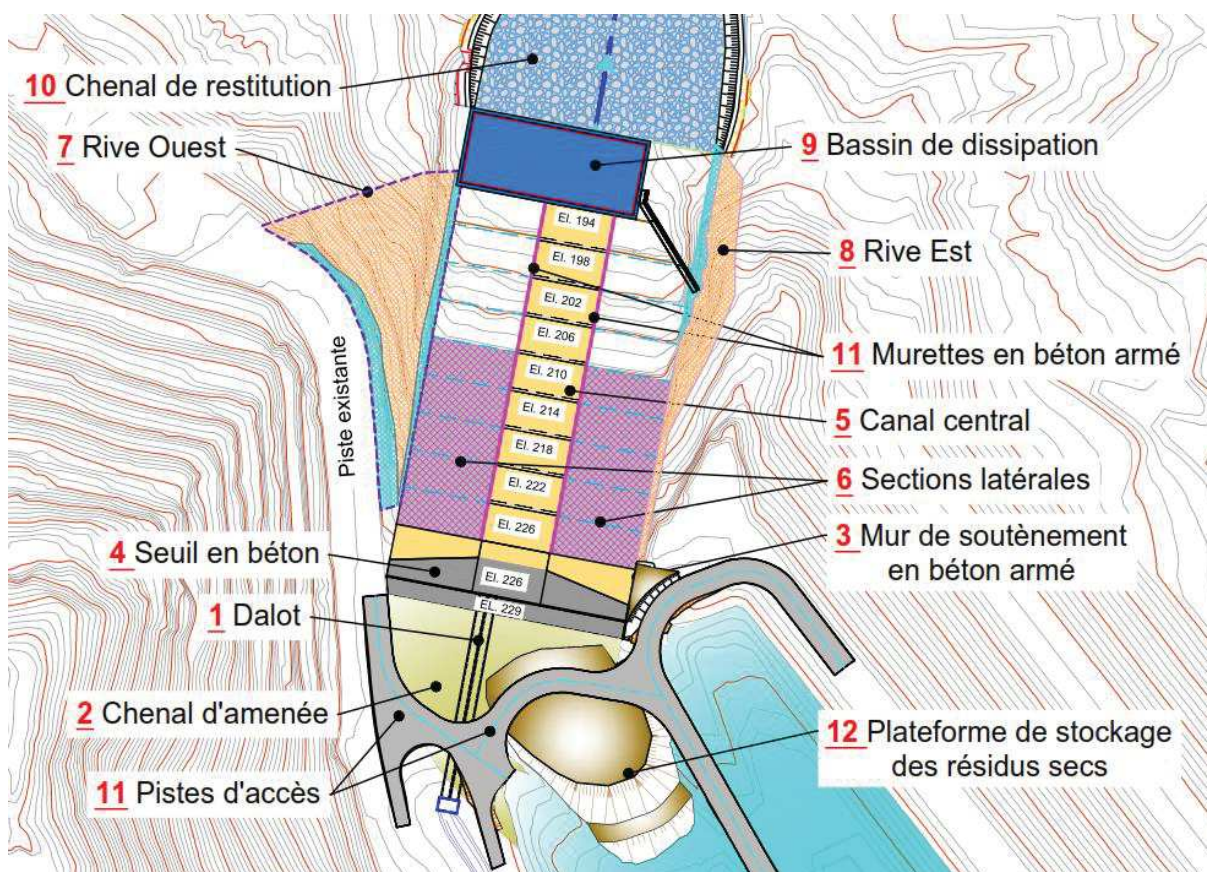


Figure 13 : Plan d'aménagement générale de l'évacuateur de crues et des ouvrages annexes (Mecater 2022)

3.1.5 Le système de drainage situé sous la géomembrane

Un réseau de drains est installé sous la géomembrane sur le fond du bassin de stockage des résidus et sur les talus internes. Il permet de réduire les surpressions en collectant les eaux issues des circulations souterraines et d'éventuelles infiltrations de surnageant ou de résidus.

Le réseau de drainage est organisé en quatre (4) secteurs distincts. Chaque secteur est constitué par :

- ➔ Un réseau de drains tertiaires qui interceptent les eaux souterraines ;
- ➔ Un réseau de drains secondaires qui concentrent les flux en provenance des drains tertiaires et les dirigent vers les drains primaires;
- ➔ Un réseau de drains primaires qui transfère tous les flux collectés vers 4 conduites principales.
- ➔ Quatre conduites principales en PEHD (polyéthylène haute densité) qui transfèrent les eaux provenant des drains primaires vers le puits de pompage aval.

La conception de ces ouvrages a fait l'objet de précautions particulières :

- Les quatre conduites principales (une par secteur) traversent la fondation du barrage dans un sarcophage de protection constitué par une structure articulée (joint tous les 12 m) en béton armé, de section rectangulaire ;
- Les tuyauteries PEHD des drains primaires et secondaires ont été installées en tranchée et protégées par du géotextile et des graviers drainants afin d'éviter leur colmatage par la latérite.

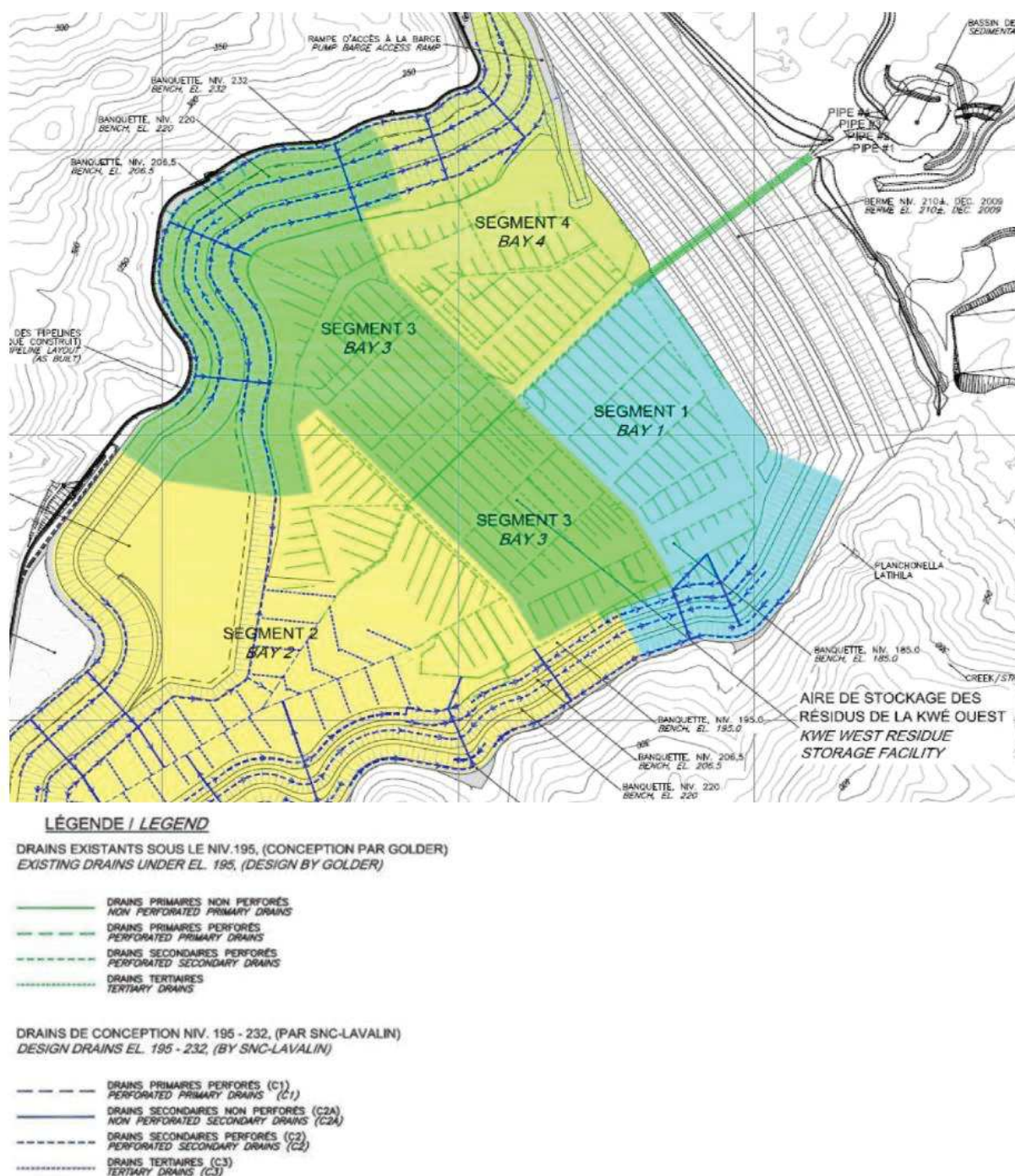


Figure 14 : Conduites de collecte des eaux de fuite sous la géomembrane [24]

Le rejet à l'environnement des eaux souterraines collectées par le réseau de drains sous la géomembrane se faisait, à partir du puits de pompage aval, dans le creek de la Kwé Ouest via le bassin de décantation aval.

Jusqu'au 13 décembre 2017, les eaux étaient orientées en fonction de leur conformité avec les limites des rejet prescrites dans l'arrêté d'exploitation :

- Conforme : rejet à l'environnement ;
- Non conforme : retour des eaux vers le bassin de stockage des résidus ou vers l'UPM.

Depuis la date du 13 décembre 2017, aucun rejet à l'environnement n'est autorisé. L'article 2.2 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté n°1466-2008/PS du 9/10/2008 (arrêté ICPE Kwé Ouest) qui autorisait ce rejet a été remplacé par l'article 11.1.5.1 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté ICPE Lucy à compter de la date de notification de cet arrêté c'est-à-dire le 13/12/2017.

3.1.6 Le puits de pompage aval

Le puits de pompage, situé à l'aval du barrage, collecte les eaux issues du système de drainage sous la géomembrane Figure 15.

Les eaux du puits de pompage aval sont principalement envoyées vers le bassin de stockage des résidus KO2. Ponctuellement (en cas de besoin), elles servent à alimenter l'UPM (Unité de Préparation du Mineraï) via un réseau de distribution secondaire qui peut faire transiter jusqu'à 250 m³/h.



Figure 15 : Vue sur les 4 exutoires des conduites des 4 secteurs du système de drainage sous la géomembrane [Réf.1]

Le puits de pompage est équipé de :

- ➔ 3 pompes électriques principales (2 pompes d'une capacité de 150 m³/h et 1 pompe d'une capacité de 650 m³/h) ;

- ➔ 2 pompes de secours (1 alimentée par un groupe électrogène d'une capacité de 160 m³/h et 1 motopompe diesel d'une capacité de 400 m³/h).

3.1.7 Les drains de pied du barrage

Un système de drains, aussi appelés fossés, permet de récolter les eaux d'exhaure provenant du système de drainage interne au barrage (cheminée et tapis drainant) ainsi que les eaux pluviales ruisselant sur le parement aval de l'ouvrage.

Les drains sont situés en pied aval du barrage, le long de ce dernier. Il existe trois (3) secteurs de collecte :

- ➔ La partie nord du barrage se draine dans le fossé nord (point de rejet 4R7) ;
- ➔ La partie sud du barrage se draine dans le fossé sud (point de rejet 4R8) ;
- ➔ La partie centrale du barrage se draine dans le fossé central (point de rejet 4R9).

Ces fossés excavés dans le terrain naturel sont recouverts d'un géotextile et d'un rip-rap.

Les trois (3) fossés disposent à l'aval d'un seuil jaugeur permettant de mesurer le débit et de suivre la conductivité en continu.

Fin 2020, en raison d'une conductivité élevée chronique, mesurée au niveau du drain 4R9, un bassin de reprise a été construit. Il est implanté à l'aval de la confluence des trois (3) drains de pied. Ainsi, les eaux collectées par les drains de pieds aval se rejettent dans le bassin de reprise en béton armé, aussi appelé « puisard ». Il a pour objectif le pompage et la recirculation vers le puits de pompage aval des effluents drainés par les drains de pied.

Suite à l'infiltration observée entre août et novembre 2022, deux containers enterrés ont été installés à l'aval du puisard de collecte afin de collecter les eaux en cas de débordement du puisard de collecte principal et ce afin de garantir l'absence de rejet vers le milieu naturel.

3.1.8 Les drains de dérivation des eaux périphériques nord et sud

Deux drains de dérivation des eaux périphériques ont été construits, entre 2016 et 2017[19], sur le flanc sud et le flanc nord du parc à résidus KO2. Ces deux ouvrages permettent de réduire les arrivées d'eau dans le parc à résidus en interceptant les eaux de ruissellement générés par les bassins versants nord et sud et en les évacuent vers l'aval.

L'exutoire de ces ouvrages est constitué par :

- Pour le canal nord : Un dalot construit au niveau du seuil de l'évacuateur de crues. Les eaux ainsi collectées se rejettent dans le bassin de contrôle de l'évacuateur de crues du parc à résidus ;
- Pour le canal sud : Un coursier enroché et bétonné, situé en pied de barrage au niveau de l'appui sud.

Le dimensionnement des drains de dérivation est basé sur une pluie de période de retour de 10 ans.

3.1.9 Stations de décharge sur les talus

Lors de la construction du parc à résidus, des résurgences d'eau souterraine ont été observées, en saison humide, au pied et dans les talus internes du bassin de stockage des résidus. Ces résurgences ont causé d'importants dégâts (décollement de la géomembrane et phénomène de renard de la couche de support en latérite) ce qui a motivé la mise en place d'une solution de mitigation.

La solution technique retenue a consisté à installer des stations de décharges permettant, en cas de fortes pluies, d'évacuer les venues d'eaux souterraines au niveau des talus internes du bassin (cf. Figure 16).

Ces stations sont maintenant entièrement cimentées et ne sont plus fonctionnelles.



Figure 16 : Station de décharge

3.1.10 Les drains horizontaux souterrains 206,5 Sud et 220 Nord

Des drains horizontaux (tapis drainants constitués de granulats associé à des collecteurs drainants) ont été mis en place entre le terrain naturel et la couche de latérite, le long des banquettes 206,5 m au sud et 220 m au nord du bassin de stockage. Ils agissent en complément des stations de décharge (aujourd'hui cimentées et donc non fonctionnelles), afin d'intercepter les venues d'eau souterraines latérales et de les évacuer vers l'aval du barrage.

Ces dispositifs empêchent de potentielles mises en pression des barrières hydrauliques mises en place (couche de latérite et géomembrane) par des résurgences latérales.

Ces drains sont connectés à l'aval à des collecteurs PEHD traversant les appuis du barrage. Pour supporter la charge à laquelle ils seront soumis, ces tuyaux (\varnothing 800 et 1200 mm) sont noyés dans un ouvrage en béton non armé coulé à pleine fouille. Au passage du drain cheminée du barrage cet ouvrage béton est interrompu et remplacé par une collerette de matériau drainant (« filtre diaphragme ») entourée d'un géotextile et connectée à la cheminée. Une seconde collerette a été mise en place plus en aval au passage du tapis drainant.

Le drain horizontal souterrain 220 N est constitué d'une conduite PEHD de diamètre 630 mm qui traverse l'appui Nord du barrage et se rejette dans le bassin de décantation KW-D33 situé en aval du barrage. Dans le cadre des travaux préparatoires de la zone aval pour la construction de la verse Lucy, cette conduite sera prolongée jusqu'à l'aval via une tranchée, au sein d'un lit de sable compacté.

L'exutoire du drain 206 Sud, se situe en aval de l'appui sud du barrage. Les éventuels écoulements, produits lors d'épisodes de fortes précipitations, s'écoulent dans le thalweg entre le pied du barrage et la carrière « Audemard ».

3.1.11 Les canalisations de transfert de résidus

Le parc à résidus KO2 est situé à 3 kilomètres au Nord de l'usine hydrométallurgique et à 5 km au sud-ouest de la mine. Des canalisations de transfert assurent le transport des résidus entre ces différents sites. Elles courent le long du parc à résidus, sur le versant nord.



Figure 17 : Vue d'ensemble sur l'amont du Parc à résidus KO2 avec le passage des canalisations de transfert des résidus en pulpe visible en rive gauche (photo aérienne de 2019)

Les résidus sont transférés à un débit moyen de 1 800 t/h sous forme de pulpe dont le pourcentage massique en solide correspond en moyenne à 20%. Les pompes utilisées pour le

transfert de la pulpe entre l'usine et le parc sont situées au niveau de l'unité de traitement des effluents sur le site de l'usine.

La canalisation de transfert est en Polyéthylène Haute Densité (PEHD PN12) de diamètre 630 mm au niveau de la montée du col et en PN 8 au niveau des lignes de déposition, et en acier le long de la route, en bas du col de l'antenne.

La mise en place des résidus est guidée par un plan de déposition spécifique. Elle se fait actuellement via deux lignes de déposition : la ligne principale qui dépose depuis le pied du Col de l'Antenne (extrémité sud-ouest du parc) et une ligne de secours côté nord.

Une station de vannes, située au col de l'antenne, permet de sélectionner quelle conduite de déposition des résidus est utilisée. Des événements sont aussi installés pour éliminer les pressions négatives à l'intérieur de la tuyauterie qui pourraient provoquer l'implosion de la conduite dans certaines conditions.

3.1.12 Système de pompage de la barge du bassin de stockage

Le surnageant est pompé au niveau d'une barge de pompage équipée de trois pompes électriques principales, chacune d'une capacité de 700 m³/h, et d'une motopompe diesel de secours (600 m³/h) (cf. Figure 18).

La capacité totale de pompage est de 2 100 m³/h (hors pompes de secours).

Le surnageant est évacué par une canalisation de refoulement amarrée à la barge, vers l'unité de traitement des effluents liquides de l'usine hydrométallurgique. Il s'agit d'une canalisation de diamètre 630 mm en PEHD.

La salle électrique alimentant les pompes est localisée sur une plateforme au niveau de l'appui rive gauche du barrage (appui Nord).

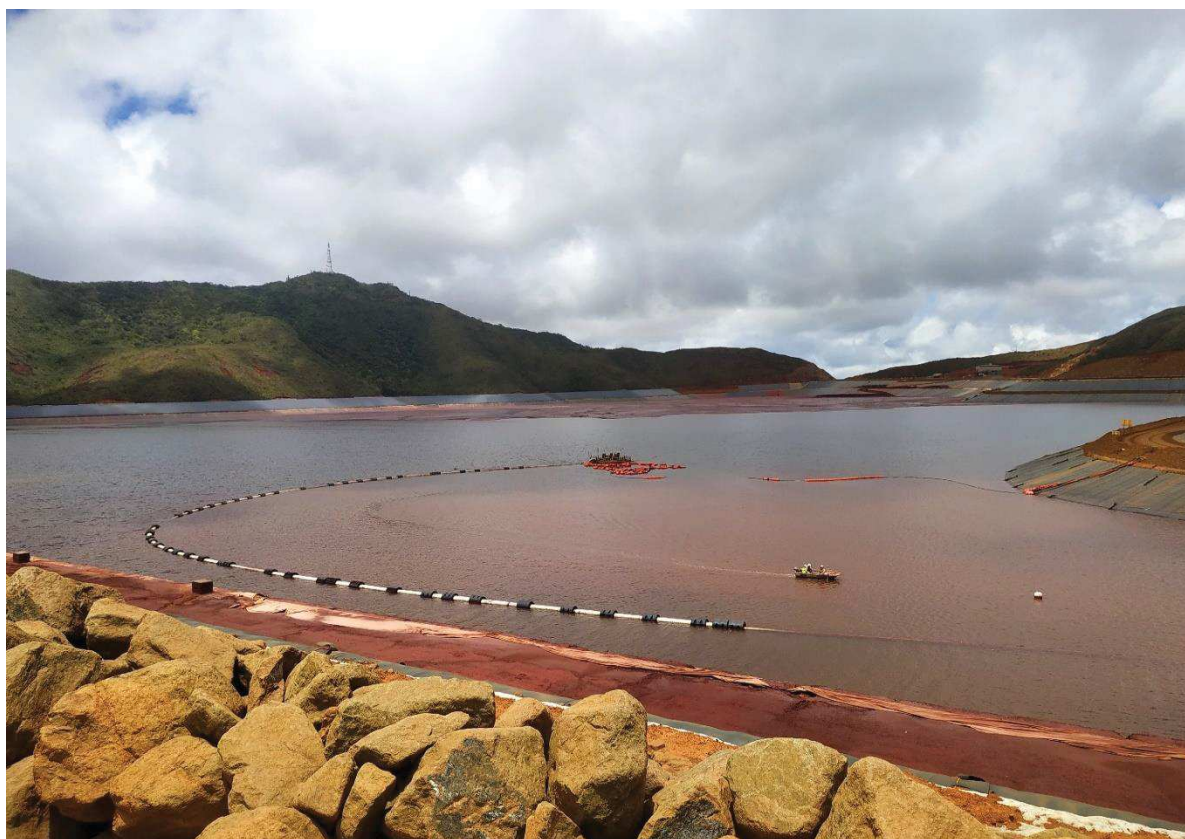


Figure 18 : Vue sur la barge de pompage des eaux surnageantes située au nord-est du bassin de stockage- (Source : GEOs4D, le 18 novembre 2021)

- Modalités d'exploitation du système de pompage :

Le système de pompage permet de respecter durant toute la phase d'exploitation une revanche minimale sur la PHE (niveau des Plus Hautes Eaux, soit une crue centennale durant 10 jours), pour satisfaire la capacité de retenue en cas d'occurrence de l'événement pluvieux majeur probable.

Outre ces besoins, les bonnes pratiques d'ingénierie veulent qu'un minimum d'eau soit en contact avec la surface des résidus pour favoriser l'évaporation de l'eau d'exhaure et optimiser la consolidation des résidus. Aussi le bassin de décantation doit toujours présenter un niveau bas et être le moins étendu possible.

Le débit de pompage est modulé en fonction de la capacité de traitement existante à chaque instant dans l'unité de traitement des effluents, ainsi que par le niveau d'eau sous la barge de pompage pour ne pas risquer d'endommager les pompes.

3.1.13 Le réseau d'auscultation

Les instruments du système d'auscultation de l'ouvrage sont localisés sur plans en Annexe B et décrit dans le paragraphe 4. Une synthèse de ces instruments est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : Instruments utilisés pour le suivi du barrage [65]

Instruments	Nombre	Paramètres suivis
Piézomètres à corde vibrante	Dans la fondation : 89 Dans le corps du barrage : 53	Niveau piézométrique
Tubes inclinométriques	11	Déplacements horizontaux
Tubes inclinométriques automatisés (SAAV)	3	Déplacements horizontaux automatisés
Tubes extensométriques	13	Tassements
Tiges de tassements	22	Tassements
Monuments de surface	25	Déplacements X, Y, Z
Sonde de niveau d'eau	Bassin de décantation : 1	Niveau du plan d'eau
Sondes multi-paramètres	Conduites du réseau de drainage sous la géomembrane : 4 Drains de pieds : 3 Sources : 2 (suspension du suivi pendant les travaux sur la zone aval du barrage KO2) Stations limnimétriques : 2	Débit et conductivité
Analyse en laboratoires sur prélèvements	Conduites du réseau de drainage sous la géomembrane : 4 Drains de pieds : 3 / Puisard : 1 Bassin de décantation : 1 Sources : 2 Piézomètres : 23 Stations limnimétriques : 2	Chimie et MES
Piézomètres	19 répartis dans la zone aval du parc à résidus et 4 à l'extérieur	Niveau des eaux souterraines, conductivité et chimie.

3.1.14 Analyse fonctionnelle interne du parc à résidus KO2

L'analyse fonctionnelle interne du parc à résidus KO2 est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Analyse fonctionnelle interne du parc à résidus KO2

Ouvrage	Elément de l'ouvrage	Fonction principale	Fonction contrainte
Barrage	Remblai	Retenir les résidus et l'eau contenus dans le bassin de stockage	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas rompre - Rester stable - Résister à l'érosion
	Fondation	Assurer la stabilité du barrage	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas se déformer
Bassin de stockage	Talus et banquettes non noyées par les dépôts	Stocker l'eau et les résidus miniers	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas rompre - Rester stables - Résister à l'érosion
	Géomembrane à l'air libre		<ul style="list-style-type: none"> - Rester étanche
	Géomembrane noyée		<ul style="list-style-type: none"> - Être stockés conformément au plan de déposition
	Résidus (comprend la zone de dépôt et zone de décantation)		
Evacuateur de crues	Seuil déversant (marches), bassin de dissipation, chenal d'évacuation et exutoire	Evacuer les crues (CMP) de période de retour de 1 000 000 ans pour maintenir la cote PHE en amont	<ul style="list-style-type: none"> - Evacuer les débits excédentaires - Ne pas s'obstruer - Rester stable
Système de drainage situé sous la géomembrane	Drains primaires, secondaires et tertiaires et 4 conduites (traversant le barrage)	Drainer les eaux souterraines et/ou les potentielles infiltrations à travers la géomembrane afin de dissiper la pression interstitielle sous la géomembrane	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas se colmater - Ne pas rompre
Puits de pompage aval	3 pompes principales, 2 pompe de secours dont une sur groupe électrogène	Collecter les eaux d'exhaure du système de drainage sous la géomembrane et pomper les eaux vers l'UPM ou le bassin de stockage	<ul style="list-style-type: none"> - Être opérationnel pour éviter le débordement du puits de pompage aval
Drains de dérivation	Drains Nord et Sud (fossés)	Réduire les eaux météoritiques entrant dans le bassin de stockage	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas s'obstruer
Drains horizontaux	Drain 206 S et drain 220 N et leurs exutoires	Dissiper les pressions interstitielles causées par les circulations d'eaux latérales sous les banquettes du bassin. Ces pressions peuvent entraîner un	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas se colmater - Ne pas rompre

Ouvrage	Elément de l'ouvrage	Fonction principale	Fonction contrainte
		soulèvement de la géomembrane.	
Drains de pied	Drain nord, sud et central	Collecter les eaux de drainage du barrage et de ruissellement du parement aval	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas s'obstruer - Résister à l'érosion
Puisard de collecte des eaux des drains de pied	3 pompes principales, 1 pompe de secours	Collecter les eaux issues des drains de pied et pomper les eaux vers le puits de pompage aval	<ul style="list-style-type: none"> - Être opérationnel pour éviter le débordement vers le milieu naturel
Canalisations de transfert des résidus (Usine à KO2)	Canalisation de transfert des résidus dans le bassin de stockage étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites, leurs appuis, les points de déposition)	Transférer les résidus sous forme de pulpe depuis l'usine de traitement jusqu'au bassin de stockage KO2 via les points de dépôts	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas fuir - Ne pas rompre
	Canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites et leurs appuis au sol)		
Système de pompage installé sur la barge dans le bassin de stockage	Canalisation de transfert des eaux surnageantes le long du bassin de stockage KO2	Evacuer les eaux surnageantes du bassin vers l'unité de traitement des effluents	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas fuir - Ne pas rompre
	Canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée		
	Pompes (3 principales et 1 pompe de secours)	Maintenir la cote de retenue en amont du barrage	Être opérationnel pour éviter le débordement du surnageant par l'évacuateur de crues

3.2 Description de la verse Lucy et infrastructures associées

La verse Lucy est construite à l'aval du barrage KO2 sur une superficie de 80 Ha et se situe entre les cotes 148 et 232 m NGNC.

La construction de la verse commencera en 2023 et s'étalera sur environ 11 ans.

La plateforme ultime de la verse se situe à la cote 252, et présente une largeur en crête de 90 à 240 m sur une longueur de 1 km.

La verse présente un dénivelé maximal de 104 m pour une pente intégratrice générale de l'ordre de 13°. Trois banquettes de 20 à 30 m sont prévues, aux cotes 190 m, 210 m et 232 m.

La capacité de stockage de la verse est de l'ordre de 31,9 Mm³, dont 1,6 Mm³ d'enrochements pour les besoins de sa construction et 0,9 Mm³ de déblais excédentaires stockés dans l'emprise de la verse.

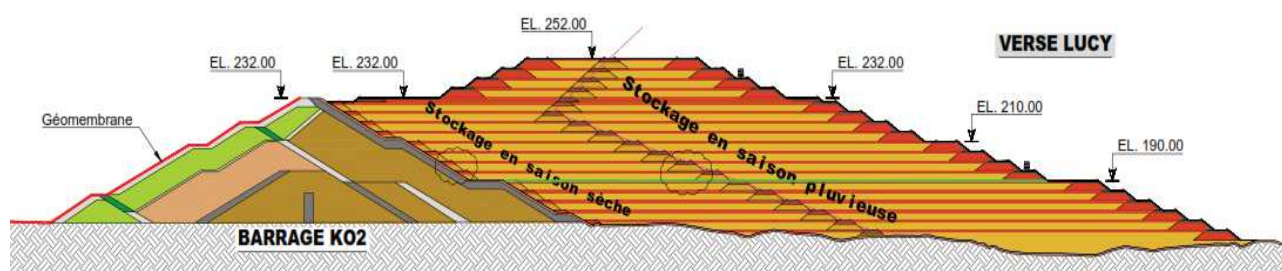


Figure 19 : Coupe de la verse Lucy

La verse est construite par niveaux de 5 m présentant une pente locale de 35°. La pente inter-rampe est de 18°.

Une banquette de 8,25 m est maintenue entre deux niveaux successifs (Cf. Figure 20). La mise en place des résidus asséchés se fait par tombereaux articulés de 55t. Dans ce cadre, une piste frontale de 17 m de large est prévue. Cette piste permet également aux engins de terrassement d'accéder à la plateforme sommitale de la verse.

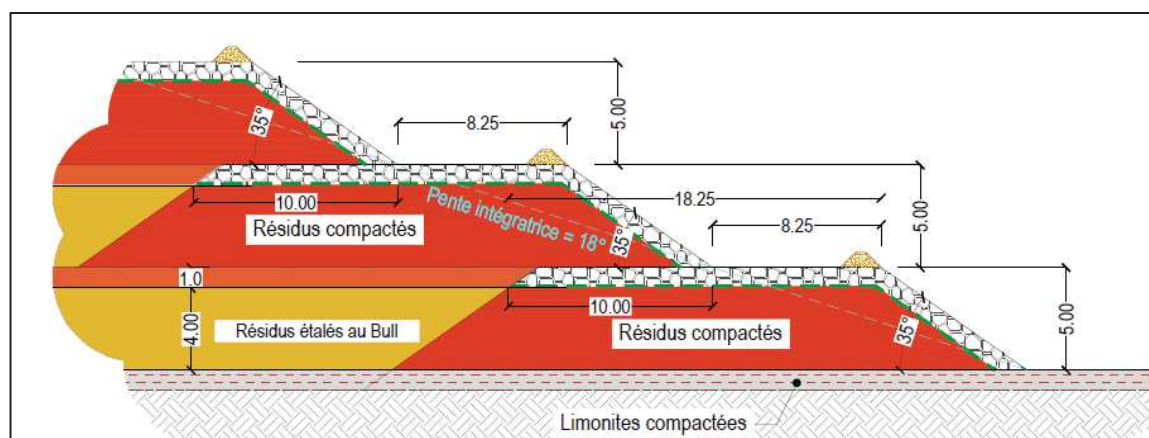


Figure 20 : Détail du talus de la verse [Réf.3]

La gestion des eaux de la verse est assurée par plusieurs systèmes de drainage selon la nature des eaux drainées, à savoir :

- Les eaux des sous écoulements (eaux naturelles) ;
- Les eaux de percolation au travers de la verse (lixiviats) ;
- Les eaux de contact correspondant aux eaux de pluie ruisselant sur la surface des résidus stockés en verse.

Les systèmes de gestion de ces différentes eaux sont présentés ci-dessous, du bas vers le haut :

- Un système de drainage des sous écoulements permettant de collecter les eaux souterraines les plus superficielles (écoulements dans la couche de colluvions de surface). Ce système est composé par des drains en enrochements 50/150 mm enveloppés dans un géotextile de séparation et équipées de conduites perforées. Ces drains sont placés au niveau des lignes d'écoulement naturel localisées dans l'emprise de la verse et permettent d'acheminer les eaux en dehors de l'emprise de la verse ;
- Une barrière étanche installée sur toute l'emprise de la verse Lucy afin de limiter les infiltrations des eaux de percolations vers l'assise de la verse. Cette barrière passive est constituée d'une couche continue de limonites compactées de 50 cm d'épaisseur qui repose directement sur la zone terrassée et sur le système de drainage des sous écoulements ;
- Un système de collecte des eaux de percolation (lixiviats), situé à la base de la verse au-dessus de la barrière étanche : Ce système est constitué par un géocomposite de drainage couvrant toute l'emprise au sol de la verse, soit une surface de 42 ha. Il permet d'intercepter les eaux de percolation et de les acheminer vers les 3 regards de collecte situés au pied de la verse ;
- Des renforts (bande de roulement) composés d'enrochements qui permettent, d'une part, aux engins de circuler en saison pluvieuse, et d'autre part, de drainer les eaux de pluie et de dissiper les surpressions interstitielles générées par le placement des résidus asséchés ;
- Un système de collecte et de gestion des eaux de contact assuré par des descentes d'eau, un chenal de collecte, et trois bassins des eaux de contact (Nord, Central et Sud). Les descentes d'eau sont conçues selon une section trapézoïdale en enrochements posés sur du géotextile. Les eaux évacuées rejoignent ensuite les bassins des eaux de contact Nord et Sud. Un système de conduites perforées « clarinette » est prévu au niveau de ces bassins afin de permettre le transfert des eaux vers le bassin Central. Un système de vidange est prévu au niveau du bassin Central, par pompage vers le parc à résidus KO2.

En complément, un canal de dérivation est prévu sur la bordure sud-est du projet (« canal de dérivation Sud ») afin de protéger l'emprise de la verse des ruissellements.

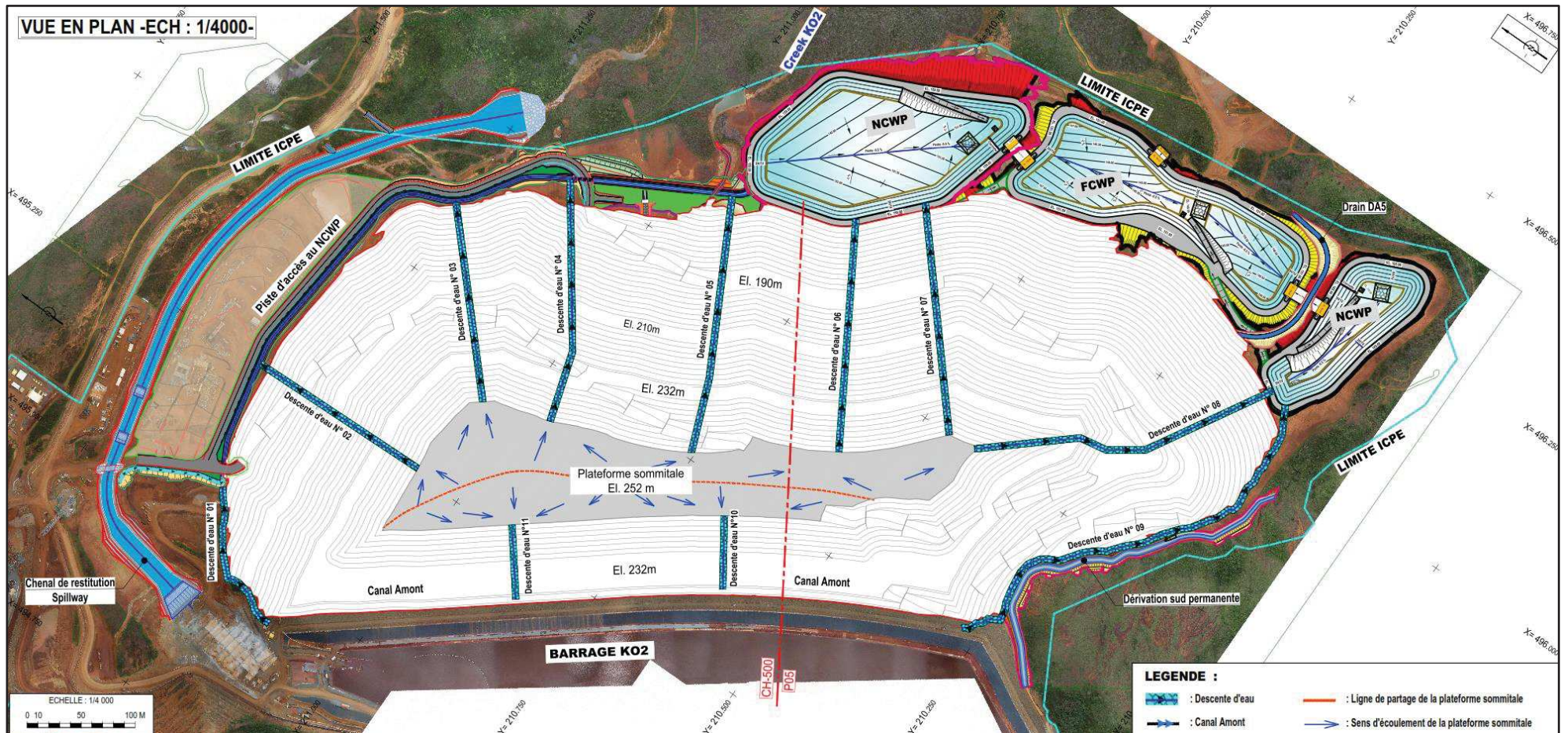


Figure 21 : Plan de gestion des eaux de contact de la verse Lucy [Réf.3].

3.3 Méthode de construction de la verse Lucy

3.3.1 Principes généraux

Le stockage des résidus se fait par niveaux de 5 mètres suivant la méthode des casiers qui consiste à construire des renforts (internes et externes) ou digues permettant d'une part, la traficabilité et l'accès aux camions et aux engins, et d'autre part, la création de casiers de stockage ayant une profondeur de 5 mètres.

L'accès à la plateforme sommitale de la verse se fera moyennant une piste frontale de 17 m de largeur qui est aménagée au fur et à mesure de la construction de la verse. La piste frontale sera raccordée à une piste d'accès conçue dans le cadre de ce projet et qui se raccorde aussi à la route projetée d'accès aux bassins des eaux de contact.

3.3.2 Zones de stockage

La méthode de stockage préconisée consiste à créer des cellules de stockage délimitées par des renforts. Ces renforts permettent d'assurer la traficabilité, et permettent notamment la dissipation des surpressions interstitielles grâce aux enrochements.

En saison sèche, le stockage peut être réalisé avec des renforts sans enrochements. Cependant, en saison humide, l'utilisation d'enrochements devient obligatoire.

Afin d'optimiser la quantité d'enrochements à mettre en place au niveau des renforts pour assurer la traficabilité, deux zones de stockage sont créées (Cf. Figure 22) :

- Une zone de stockage en saison pluvieuse : cette zone est aménagée du côté extérieur de la verse et constitue environ 70% du volume total du stockage de la verse ;
- Une zone de stockage en saison sèche : cette zone est aménagée du côté intérieur de la verse et constitue ainsi 30% du volume total du stockage de la verse.

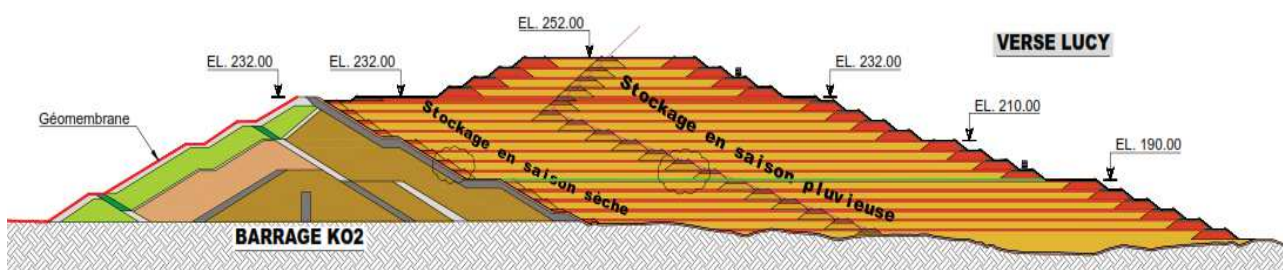


Figure 22 : Coupe type de la verse

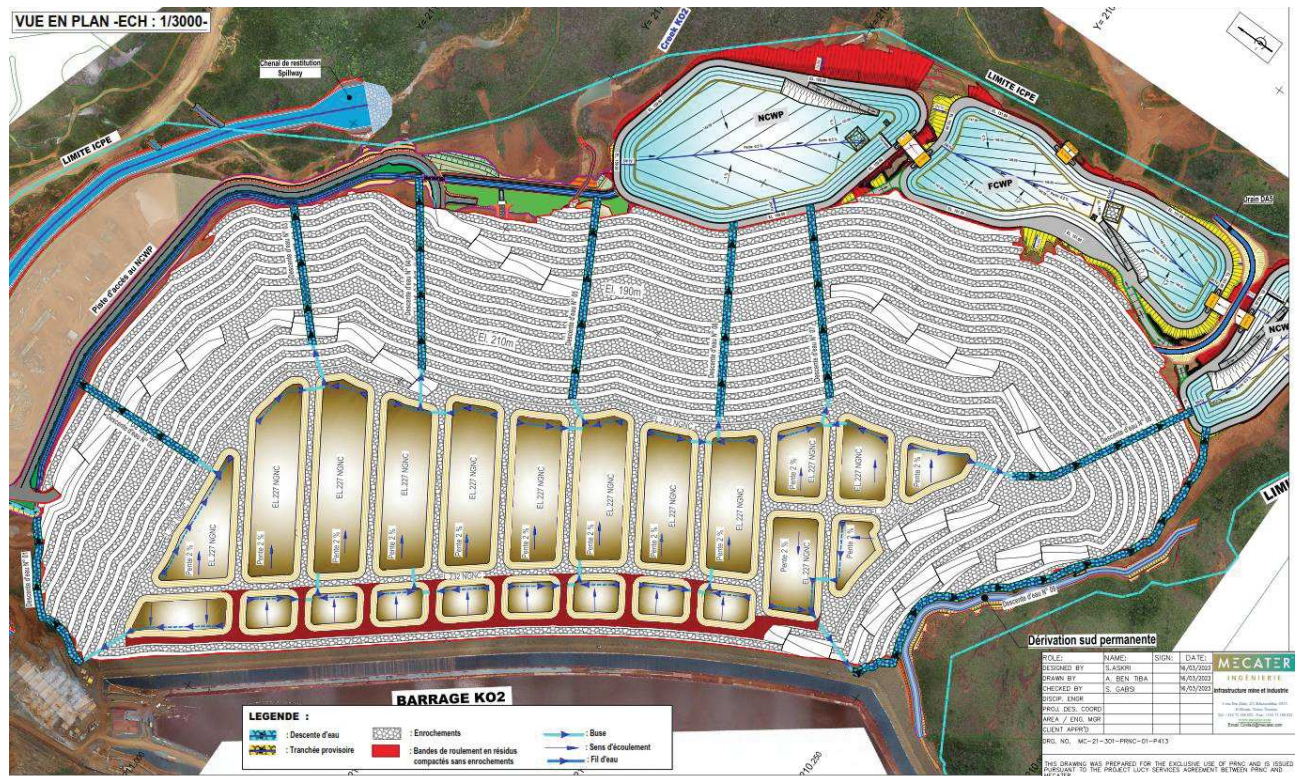


Figure 23 : Zones de stockage

Les renforts aménagés au niveau de la verse se décomposent en 3 types :

- ➔ Des renforts externes de 16 m de largeur, aménagés en bordure de la verse. Ils permettent d'accéder aux différents niveaux à partir de la piste frontale et de prévenir l'érosion du talus libre par le ruissellement des eaux de pluie. Ils sont construits avec (du bas vers le haut) :
 - Une couche de résidus de 4,1 m d'épaisseur, compactés jusqu'à 95% de l'OPM ;
 - Une couche d'enrochement de 0,9 m d'épaisseur ;
 - Un géotextile de séparation est mis en place sous la couche d'enrochements afin d'empêcher la migration des particules fines présentes dans les résidus asséchés et la contamination de la couche d'enrochements.
- ➔ Des renforts internes de 8 m de largeur, permettant l'accès aux cellules de stockage de la zone de stockage en période pluvieuse. Ils sont construits avec (du bas vers le haut) :
 - Une couche de base en résidus asséchés étalés au bull sur 3.2 m d'épaisseur ;
 - Une couche en résidus asséchés de 1 m d'épaisseur, compactée au compacteur jusqu'à 95% de l'OPM ;
 - Une couche de roulement en enrochements sur une épaisseur de 0,8 m, permettant la traficabilité en temps pluvieux. Un géotextile de séparation est mis en place sous la

couche d'encrochements afin d'empêcher la migration des particules fines présentes dans les résidus asséchés et la contamination de la couche d'encrochements.

➔ Des renforts internes de 8 m de largeur, permettant l'accès aux cellules de stockage de la zone de stockage en période sèche. Ces renforts sont composés exclusivement de résidus asséchés, sans enrochements. Ils sont construits avec (du bas vers le haut) :

- Une couche de résidus de 3 m d'épaisseur, étalés au bull par couche de 1 m ;
- Une couche de résidus compactés à 95% de l'OPM, de 2 m d'épaisseur.

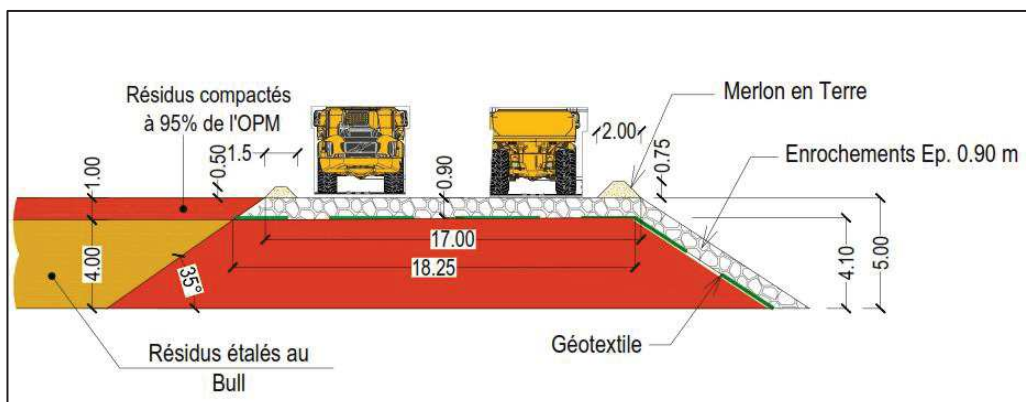


Figure 24 : Renfort externe

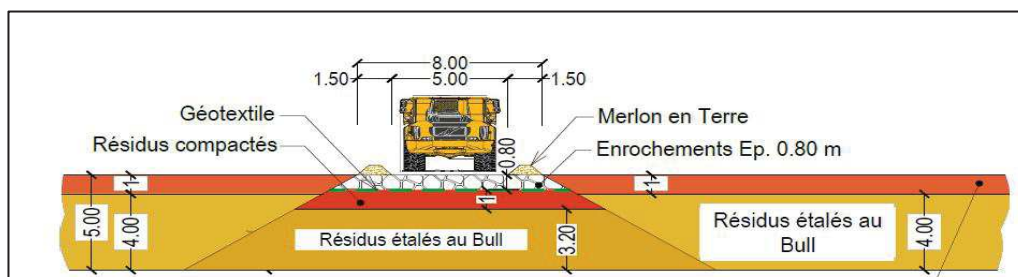


Figure 25 : Renfort interne- zone de stockage période pluvieuse

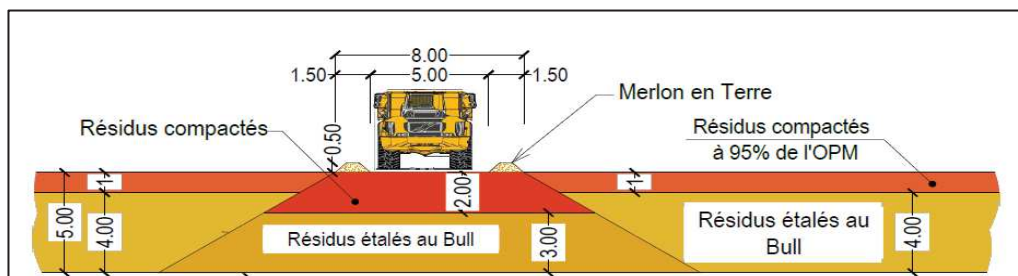


Figure 26 : Renfort interne- zone de stockage période sèche

Les caractéristiques des différents renforts sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents renforts internes et externe

	Renfort interne Zone de stockage pendant la période sèche	Renfort interne Zone de stockage pendant la période pluvieuse	Renfort externe
Largeur (m)	8	8	17
Nombre de voies	1	1	2
Epaisseur de la couche de roulement en enrochements (m)	-	0,8	0,9
Epaisseur de la couche de résidus compactés jusqu'à 95% de l'OPM (m)	2	1	4,1
Epaisseur de la couche de résidus poussés au bull (m)	3	3,2	-

3.3.3 Méthode de stockage dans les casiers

Les résidus asséchés sont transportés par tombereaux articulés de 55t via les renforts aménagés et déversés dans les casiers de stockage. Les résidus sont par la suite poussés au Bull en partant de l'extrémité amont et en allant vers le milieu de chaque casier. Pour garantir les critères de compaction (80% de l'OPM), la hauteur maximale des couches déposées ne doit pas dépasser 1 m, et ce jusqu'à atteindre une hauteur totale de 4 mètres. Par ailleurs, une pente minimale de 2% devra être assurée pour permettre le drainage des casiers.

A la fin de chaque journée de stockage (ou à la fin de chaque quart), la surface des résidus est fermée moyennant l'utilisation de :

- Un bull afin de casser la structure des résidus asséchés et de réduire l'indice des vides en surface. Le nombre de passes du bull devra être défini à travers la réalisation de planches d'essai, avant le démarrage de la construction de la verse puis en cas de changement notable des caractéristiques des résidus asséchés. L'objectif est d'atteindre un degré de compaction minimal de 80% de l'OPM au niveau de la planche d'essai, et ce en fonction des saisons et de la qualité du résidus produit. Il y a lieu de noter qu'aucun contrôle de la compacité n'est exigé au niveau des 4 m inférieurs de chaque casier. Seul un nombre minimal de passes du bull, défini au préalable, est requis. ;
- Un bull pour le lissage de la plateforme afin de limiter l'infiltration des eaux de pluie dans les casiers et assurer une pente vers les files d'eau créées au niveau de chaque casier (côté buse).

Le 5^{ème} et dernier mètre de résidus asséchés est étalé au Bull par une succession de couches ne dépassant pas les 40 cm. Chaque couche mise en place est ensuite compactée à l'aide d'un compacteur jusqu'à 95% de l'OPM. Le degré de compactage de chaque couche doit être vérifié moyennant un essai de contrôle de la densité de type gamma densimètre ou équivalent.

L'espacement entre les renforts internes est de 80 m, soit une distance de poussage au bull de 40 m. Cet espacement permet un rendement optimal au bull et permet d'assurer un bon drainage des eaux de ruissellement.

Une pente minimale de 2% sera maintenue de l'extérieur du casier vers l'intérieur afin d'assurer une gestion optimale des eaux.

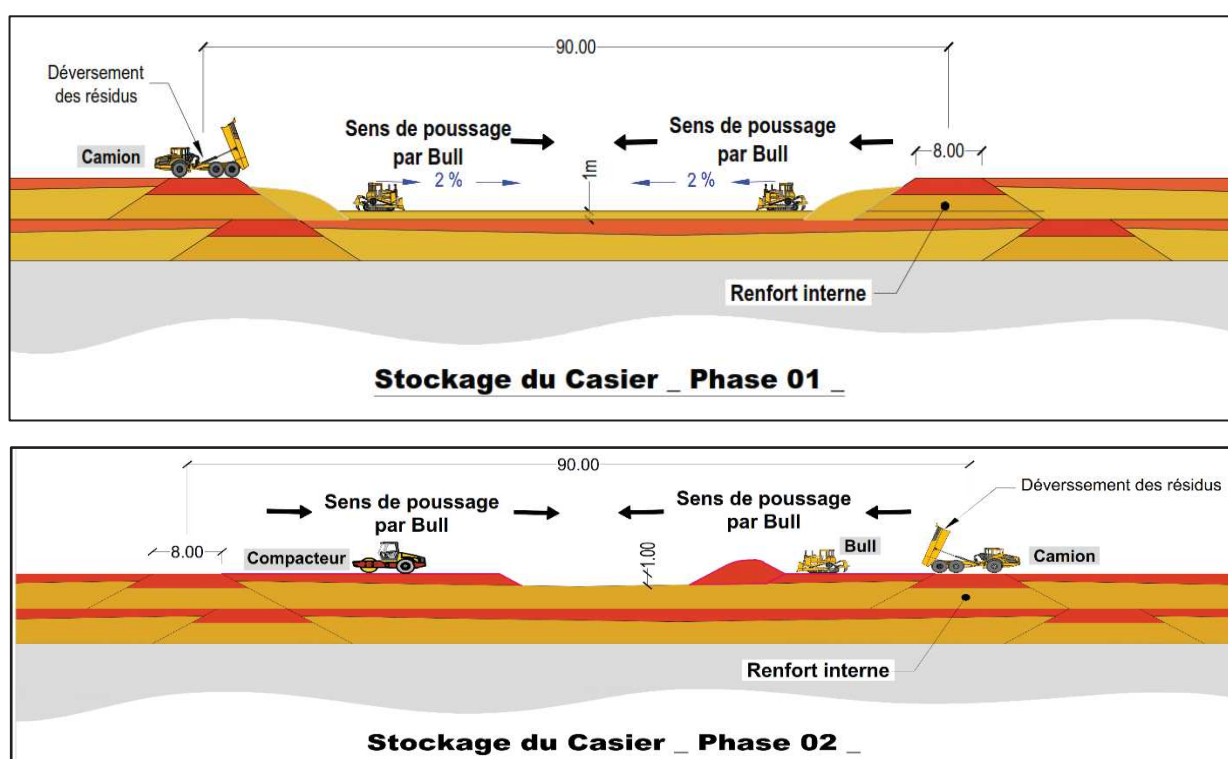


Figure 27: Méthode de stockage des résidus asséchés

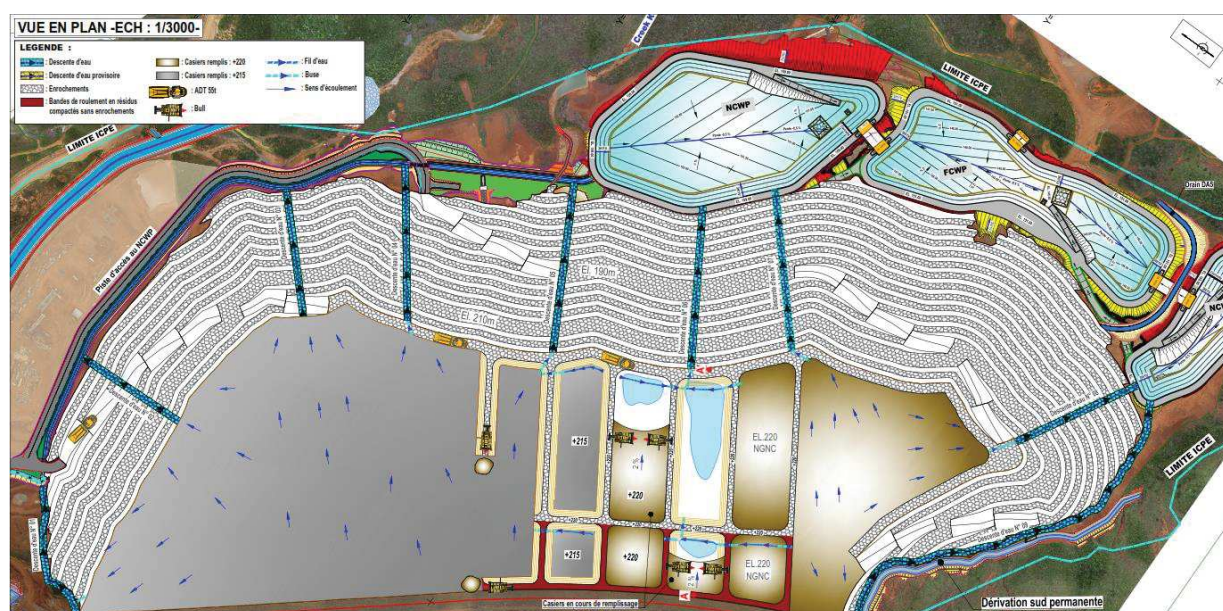


Figure 28: Sens de poussage des résidus

3.3.4 Gestion des eaux au niveau des casiers de stockage

Les modalités de gestion des eaux sont les suivantes :

- Les eaux sont acheminées à partir des casiers de la zone de stockage en saison sèche vers les casiers de la zone de stockage en saison pluvieuse ;
- Au sein de chaque casier, le drainage des eaux est assuré par gravité en maintenant, en tout temps, des couches de résidus avec un toit penté vers l'aval de 2% ;
- L'évacuation des eaux d'un casier à un autre est assurée par des buses enterrées à la base des renforts. Pour les casiers les plus en aval, ces buses sont connectées aux descentes d'eau disposées sur le talus libre de la verse.

Afin de garantir le bon fonctionnement de ce système de gestion des eaux, le remplissage des casiers doit absolument respecter une certaine séquence afin d'éviter de créer des obstacles à l'évacuation des eaux.

Le point critique de cette séquence est le suivant : les casiers situés au niveau du talus libre de la verse doivent être remplis en dernier pour permettre l'évacuation des eaux. Un exemple de séquence de remplissage est présenté à la Figure 29.

Sur cet exemple, la séquence de remplissage doit se faire comme suit :

- Les casiers « 1 » sont à remplir en premier. Durant le remplissage de ces casiers, les eaux de ruissellement sont évacuées à travers les conduites situées à la base des bandes de roulements internes puis sont acheminées vers les descentes d'eau en passant par les casiers 2 et 3 qui doivent ainsi être comblées en deuxième phase pour ne pas bloquer les écoulements ;

- Les casiers « 2 » sont comblés après comblement des casiers « 1 ». Durant le remplissage de ces casiers, les eaux de ruissellement sont évacuées à travers les conduites situées à la base des bandes de roulements internes puis sont acheminées vers la descente d'eau en passant par le casier 3.
- Le casier 3 est comblé en dernier. Au cours des travaux de comblement, les résidus sont nivelés avec une pente de 2% de façon à assurer un écoulement des eaux vers la conduite située à la base de la bande de roulement externe. Cette conduite est directement connectée à la descente d'eau. D'une façon générale, les casiers situés en amont immédiat des descentes d'eau sont à combler en dernier.

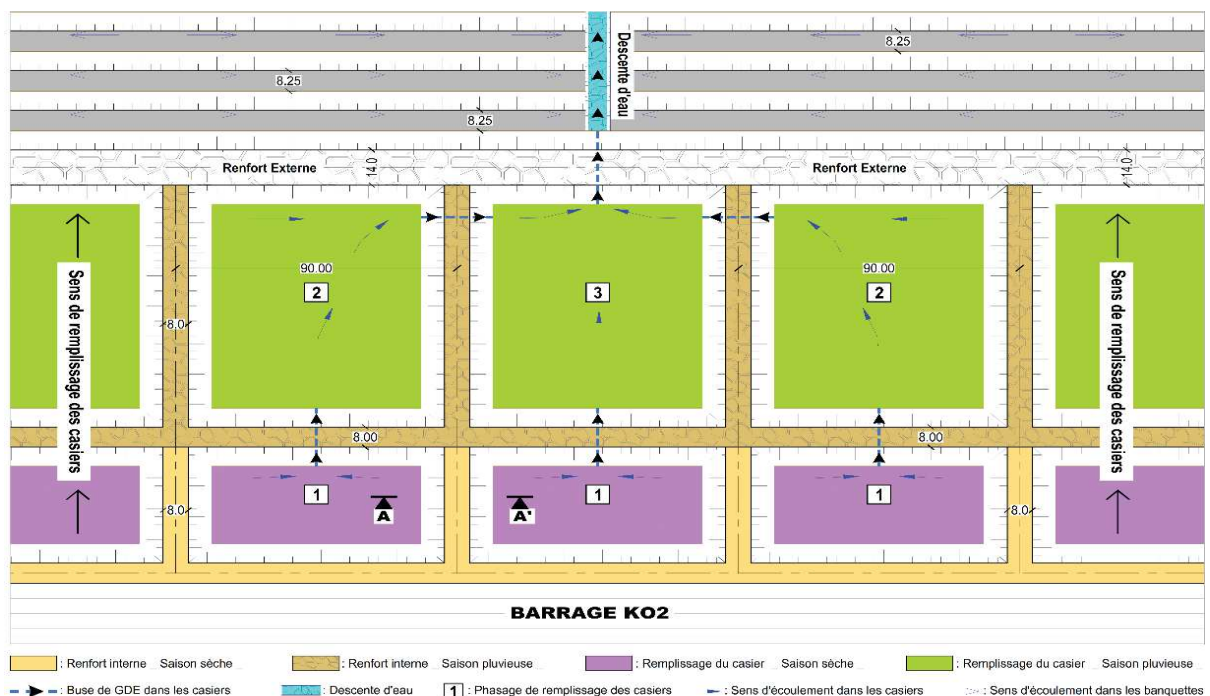


Figure 29 : Principe de gestion des eaux au niveau des casiers de stockage

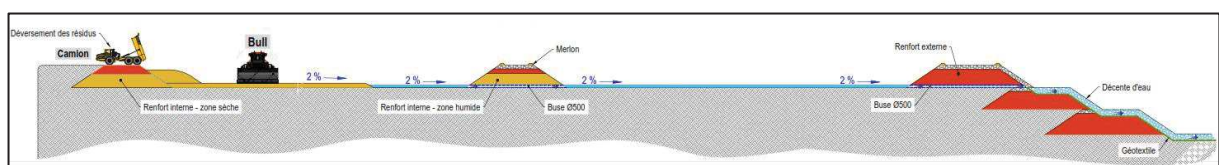


Figure 30 : Gestion des eaux à l'intérieur des casiers

3.4 Description de la zone aval du barrage KO2 (emprise de la verse Lucy et des infrastructures associées)

Actuellement, plusieurs ouvrages existent en aval immédiat du parc à résidus KO2, précisément dans l'emprise de la future verse.

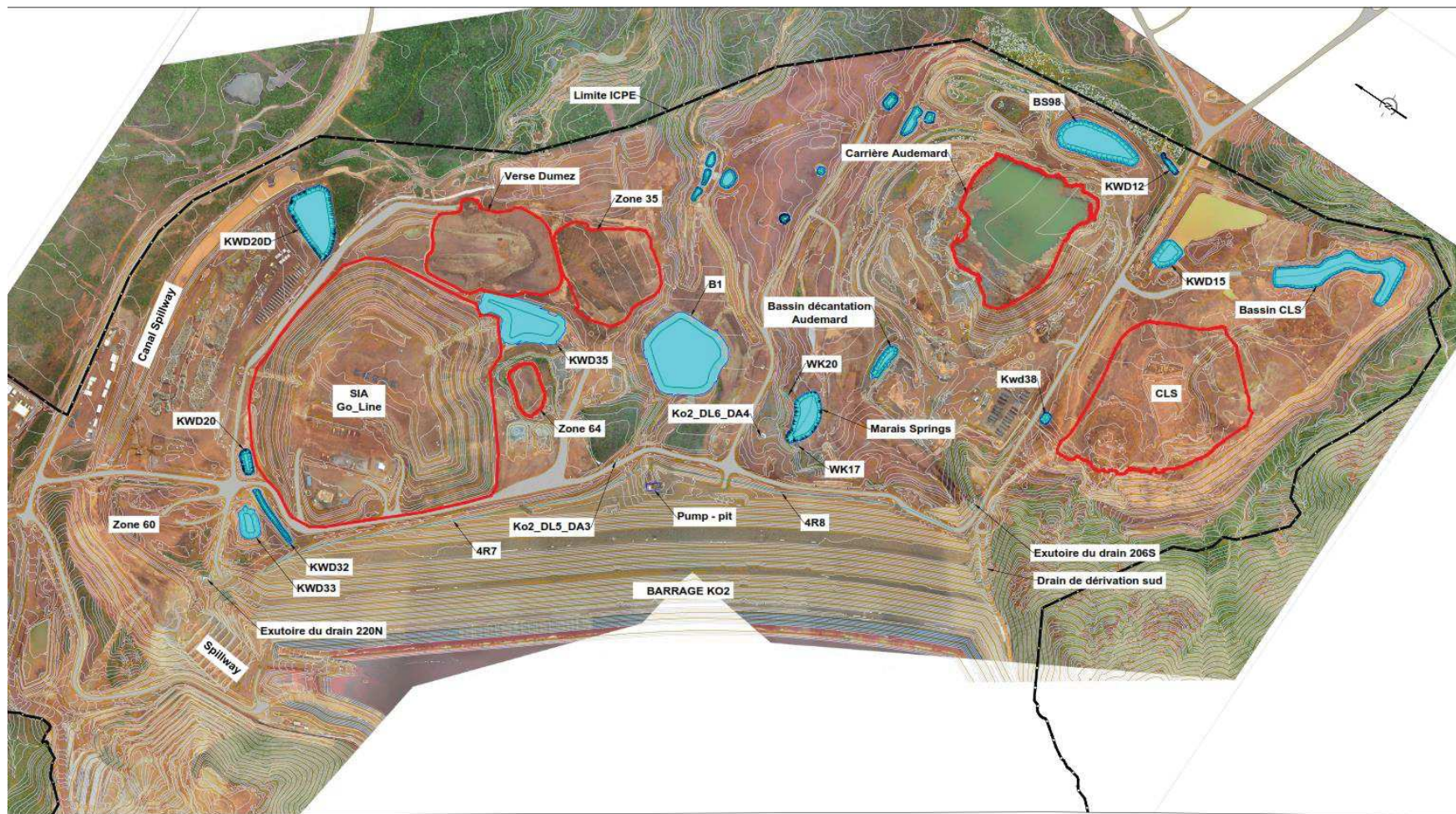


Figure 31 : Infrastructures et installations existantes dans la zone aval du barrage KO2

Le tableau ci-dessous résume succinctement l'ensemble des installations existantes dans la zone aval et leur devenir dans le cadre du projet de construction de la verse Lucy.

Tableau 17 : Installations existantes dans la zone aval du barrage KO2 et leur devenir durant la phase préparatoire

Installations		Devenir des installations
Parc à résidus KO2	Réseau de sous drainage (4 collecteurs)	➔ Extension du réseau de sous drainage existant (4 conduites) vers l'aval pour poursuivre la collecte des eaux de sous drainage en provenance du parc à résidus KO2 durant et après la fin de construction de la verse.
	Drains de pied <ul style="list-style-type: none"> - Nord (4R7) - Sud (4R8) - Central (4R9) 	➔ Extension des trois drains de pied du barrage KO2 (4R7, 4R8 et 4R9) à partir du puits de pompage aval existant jusqu'à l'aval de la verse.
	Puits de pompage aval et puisard de collecte des eaux issues des drains de pied	➔ Au total, six conduites seront regroupées et prolongées à travers une voie rectiligne vers l'aval et ce pour faciliter son inspection en cours d'opération. ➔ Démantèlement du puits de pompage aval et du puisard de collecte des eaux issues des drains de pied. ➔ Un nouveau puits sera construit en aval de la verse afin de poursuivre le suivi de la qualité des eaux de sous drainage du parc à résidus KO2.
	Drain de dérivation des eaux périphériques sud	Extension du drain de dérivation sud existant Ce drain (sud permanent) permet de dévier les eaux afin de réduire le volume d'eau de pluie transitant par le parc à résidus KO2 et la verse Lucy.
	Drain horizontal 220 Nord Drain horizontal 206 Sud	Extension des drains horizontaux 206S et 220N vers l'aval. Les eaux collectées par ces drains seront acheminées vers deux exutoires en béton armé, afin de contrôler leur qualité

Installations		Devenir des installations
		durant et après la fin de construction de la verse.
	Réseau d'auscultation	Déplacement des enregistreurs KO2-DL5-DA3 et KO2-DL6-DA4 en aval de la verse et extension des réseaux associés
Verse Go Line	Verse à stériles du parc à résidus KO2 comprenant dans sa plateforme sommitale un parking et une base vie	Démantèlement de la base vie, terrassement et décapage des surfaces
Zones de stockage de stériles	Verse DUMÉZ	Zones à déblayer partiellement pour les besoins du chantier
	Zone 35	
Carrière AUDEMARD	Carrière de péridotites utilisées pour la construction du barrage KO2	Comblement de la carrière et aménagement d'un drain permettant de capter les eaux et de les acheminer en aval vers un exutoire en béton armé, afin de contrôler leur qualité durant et après la fin de construction de la verse.
Système de gestion des eaux de la zone aval	Différents ouvrages hydrauliques à l'aval du barrage	Les ouvrages hydrauliques seront démantelés pour faire place à un nouveau système de gestion des eaux adapté à la verse Lucy. Les bassins de sédimentation seront traités et purgés.
Sources	WK17	Il est envisagé de capter les eaux de sources situées au niveau de l'emprise de la verse Lucy, de les acheminer en aval des bassins des eaux de contact et de contrôler leur qualité durant et après la fin de construction de la verse.
	WK20	
	Nouvelles sources	
Creek KO2	Situé dans l'emprise de la future verse Lucy	Le traitement du creek KO2 sera réalisé par l'aménagement d'un drain situé sous l'emprise de la future verse Lucy. Ce drain permettra d'acheminer les eaux du creek KO2 vers l'aval et de contrôler leur qualité durant et après la fin de construction de la verse.

3.5 Phasage de construction de la verse Lucy

La construction de la verse Lucy sera scindée en quatre étapes (Cf. Tableau 18)

Chaque étape comporte une ou plusieurs phases de construction. Les différentes étapes de construction de la verse répondent à des objectifs de réalisation spécifiques et se chevauchent dans le temps.

La durée totale de construction de la verse y compris les travaux préparatoires est de 12 ans.

La séquence de construction de la verse Lucy comporte 09 phases (de 1 à 9), réalisées sur une durée de 11 ans (hors travaux préparatoires).

Tableau 18 : Etapes de construction de la verse Lucy

Etapes	Description	Durée
Etape 1 : Travaux préparatoires de la zone aval	<p>La première étape concerne les travaux préparatoires de la zone aval qui comprennent principalement :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Le traitement des infrastructures existantes et des zones marécageuses ➔ L'extension des réseaux du parc à résidus KO2 existants ➔ La construction des systèmes de drainage de la verse Lucy 	<p>3 ans</p> <p>1,5 ans avant le démarrage du stockage des résidus asséchés</p> <p>1,5 ans après le démarrage du stockage des résidus asséchés</p>
Etape 2 : Phase de confortement du barrage KO2 (Phases 1 à 7)	<p>Cette étape concerne la construction de la verse Lucy pour le confortement du barrage KO2 jusqu'à atteindre le niveau de stabilité requis pour le barrage.</p> <p>Démarrage prévu au mois de juillet 2023.</p> <p>Cette étape de construction sera scindée en 7 phases (de la Phase 1 jusqu'à la Phase 7). Un confortement intermédiaire (de la rive sud jusqu'à la coupe CH700) sera atteint à la fin de la phase 5.</p> <p>Le confortement final du barrage sera, quant à lui, atteint à la phase 7.</p>	3 ans
Etape 3 : Phase finale de construction de la verse Lucy (Phases 8 et 9)	<p>Cette étape concerne le complément de construction de la verse Lucy jusqu'à atteindre la cote ultime.</p> <p>Cette troisième étape de construction sera scindée en 2 phases (Phase 8 et Phase 9).</p>	8 ans
Etape 4 : Travaux de fermeture de la verse Lucy	<p>Cette étape concerne les travaux de fermeture et de réhabilitation de la verse Lucy.</p>	<p>Démarrage prévu à la suite de la phase 8 et se poursuivra 3 ans après la fin de construction de la verse</p>

3.5.1 Etape 1 : Travaux préparatoires de la zone aval

Les travaux préparatoires concernent l'emprise de la verse Lucy et les ouvrages associés qui se situent dans la zone aval du parc à résidus KO2.

Il s'agit principalement de traiter les infrastructures existantes et des zones marécageuses, d'étendre les réseaux existants du parc à résidus KO2 et de construire les systèmes de drainage des eaux de la verse (Tableau 19).

Tableau 19 : Description des travaux préparatoires

Etapas	Description
Traitement des infrastructures existantes et des zones marécageuses :	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement du creek KO2 ; - Traitement des sources - Traitement de la carrière Audemard ; - Traitement de la verse à stériles Go-Line, de la verse DUMEZ et de la zone 35 ; - Traitement des zones marécageuses et des bassins de sédimentation existants.
Extension des réseaux du parc à résidus KO2	<ul style="list-style-type: none"> - Extension du réseau de sous-drainage du parc à résidus KO2 existant et des drains de pied existants ; - Construction du nouveau puits de pompage aval ; - Extension des drains horizontaux 206 S et 220 N existants ; - Extension du drain de dérivation Sud ; - Extension des câbles d'instrumentation.
Construction des systèmes de drainage de la verse Lucy	<ul style="list-style-type: none"> - Construction du système de drainage des sous écoulements de la verse Lucy ; - Construction de la barrière étanche sous la verse Lucy ; - Construction du système de drainage des eaux d'infiltration (lixiviats) de la verse Lucy ; - Construction des bassins des eaux de contacts (Nord, Sud et Central)

3.5.1.1 Traitement des infrastructures existantes et des zones marécageuses :

3.5.1.1.1 Traitement du creek KO2

Dans le cadre des travaux préparatoires relatifs à la construction de la verse Lucy, des travaux de traitement du creek temporaire dit KO2, situé sous l'emprise de la future verse Lucy, sont prévus pour capter les eaux et les acheminer en aval (Cf. Figure 32).

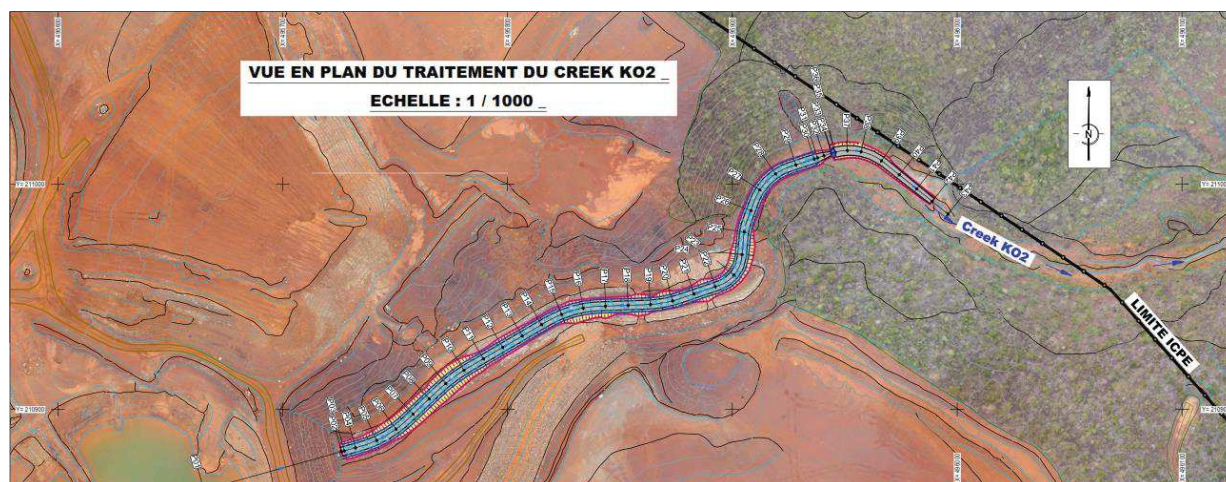


Figure 32 : Vue en plan du traitement du creek KO2

Le drainage des eaux du creek KO2 sera assuré par quatre conduites crépinées en PEHD DN110. Ces conduites seront posées dans un drain en enrochements 50/150 mm de 1.5 m² de section, enveloppés dans un géotextile de séparation et construits au niveau de la ligne d'écoulement.

3.5.1.1.2 Traitement de la carrière Audemard

La carrière Audemard est située au niveau du pied sud-est de la future verse Lucy. Dans le cadre des travaux de traitement de la carrière Audemard, les talus verticaux seront reprofilés de façon à réduire la pente à 25%. Ces travaux de reprofilage permettent à la fois de stabiliser les talus et faciliter la mise en place de la barrière étanche.

Par ailleurs, il est prévu de combler la carrière Audemard et d'aménager un réseau de drainage composé des ouvrages suivants :

- Un tapis drainant composé d'enrochements et aménagé au fond de la carrière ;
- Une cheminée de drainage projetée contre le talus aval de la carrière et permettant de connecter le tapis drainant à l'exutoire ;
- Trois drains en enrochement équipés en conduites crépinées et aménagés dans le remblai de comblement de la carrière. Ces drains sont connectés à l'exutoire (canal Audemard) et sont mis en œuvre de façon à capter les éventuelles remontées de niveau d'eau et les acheminer vers le canal Audemard. Ce système permet de maintenir le niveau de la nappe sous la barrière étanche et assurer un écoulement gravitaire des éventuelles remontées d'eau vers le canal Audemard ;
- Un exutoire aménagé sous forme de canal de drainage, dit « canal Audemard ». Cet ouvrage est équipé de deux conduites crépinées en PEHD DN110 PN8, entourées par des enrochements 50/150 mm, de section d'environ 2 m².

Ce système de drainage assure la collecte des eaux de résurgence de la nappe du fond de la carrière Audemard et leur acheminement vers l'aval vers un exutoire en béton armé, permettant, ainsi, de

contrôler le débit et la qualité des eaux, pendant le comblement de la carrière et durant toutes les phases de construction de la verse et après sa fermeture.

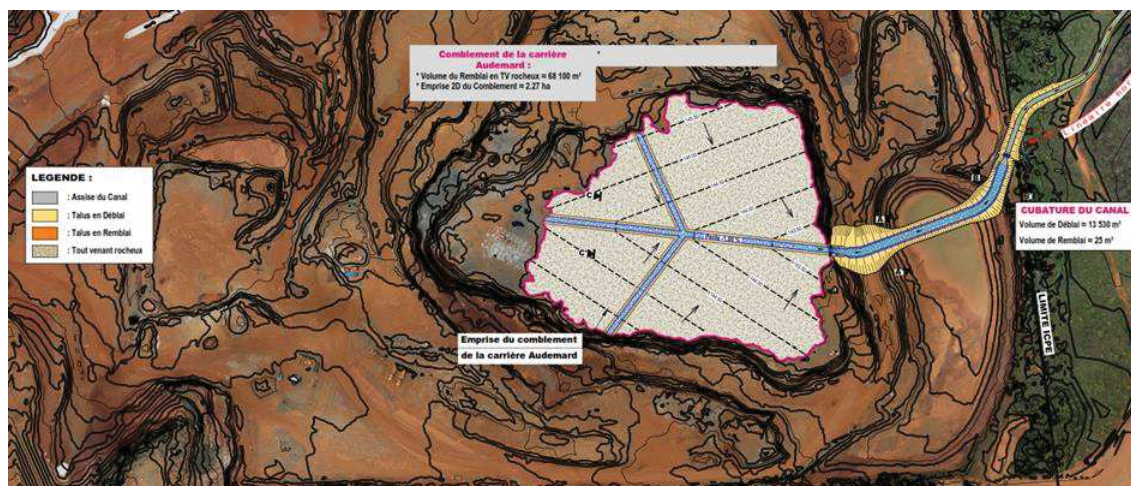


Figure 33 : Vue en plan des travaux de comblement de la carrière Audemard

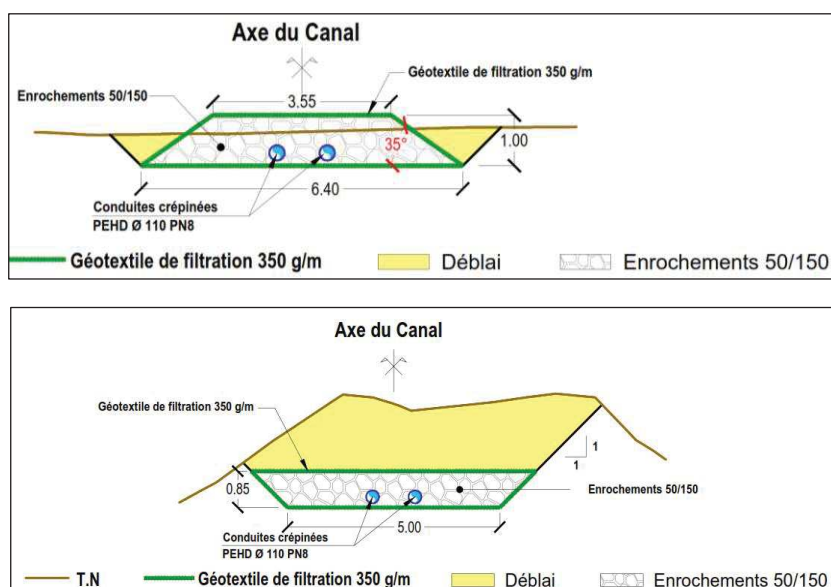


Figure 34 : Coupes Types des drains de la carrière Audemard

3.5.1.1.3 Traitement de la verse à stérile Go-Line, de la verse Dumez et de la Zone 35

La verse à stériles Go-Line a été créée au début des travaux de construction du parc à résidus KO2 sur une emprise au sol de 115 000 m². Environ 1,5 Mm³ de stériles y ont été stockés depuis. Sur la verse à stériles, un parking dit « go-line » a été créé en 2011 pour garer les engins de chantier pendant la construction du parc à résidus. A côté du parking engins est disposé un espace en demi-lune, quelques bureaux, sanitaires et un parking VL (véhicules légers).

Dans le cadre des travaux préparatoires de la zone aval, il est prévu de démanteler la base vie et de décaper la couche supérieure de la verse Go-line sur une épaisseur maximale de 30 cm.

Deux autres verses à stériles sont présentes dans la zone aval : il s'agit de la verse Dumez et de la Zone 35. Ces verses seront partiellement déblayées.

3.5.1.1.4 Traitement des zones marécageuses et des bassins de sédimentation :

Compte tenu de la présence d'infrastructures à l'aval du barrage, plusieurs ouvrages hydrauliques sont actuellement présents dans la zone de projet. Il s'agit principalement des bassins de décantation KWD20, KWD32, KWD33, KWD12, KWD35, KWD15, KWD38, KWDR20D, B1, BS 98 et les deux bassins de décantation et de la carrière Audemard et de la carrière de limonite sud.

Les ouvrages hydrauliques seront démantelés et purgés pour faire place à un nouveau système de gestion des eaux adapté à la verse Lucy. Les zones marécageuses seront aussi purgées et traitées.

3.5.1.2 L'extension des réseaux existants du barrage KO2

3.5.1.2.1 Extension du réseau de sous drainage du parc à résidus KO2 et des drains de pied :

Le réseau de drainage des sous-écoulements du parc à résidus KO2 et les drains de pied du barrage KO2 existants comprennent ce qui suit :

- 4 conduites de drainage, GEO1, GEO2, GEO3 et GEO4, permettant de collecter les sous-écoulements du parc à résidus KO2.
- Drains de pied du barrage KO2 constitués actuellement par 3 fossés nommées 4R7, 4R8 et 4R9, permettant de collecter les eaux provenant du tapis drainant installé à la base du barrage et de la cheminée drainante ainsi que les eaux ruisselant sur la face aval du barrage.

Pour le réseau de drainage des sous-écoulements, il est prévu de prolonger les quatre conduites existantes avec des conduites de même diamètre, disposées selon un tracé rectiligne afin de faciliter leur inspection.

Concernant les trois drains de pied du barrage KO2, il est prévu de les canaliser jusqu'au nouveau puits de pompage aval Via deux conduites pleines collectant respectivement les eaux des drains de pieds 4R8 & 4R9 d'un côté et les eaux du drain 4R8 d'un autre côté.

Ainsi, au total, six conduites en PEHD de diamètre DN355 seront prolongées depuis le puits de pompage actuel vers l'aval, suivant une voie rectiligne unique :

- 04 conduites pour le réseau de drainage des sous-écoulements du parc à résidus KO2 ;
- 02 conduites pour les drains de pied du barrage KO2.

Le dispositif, regroupant les 06 conduites est nommé « ouvrage d'extension des conduites du réseau de sous drainage de KO2 et des drains de pied » (Cf. Figure 35).

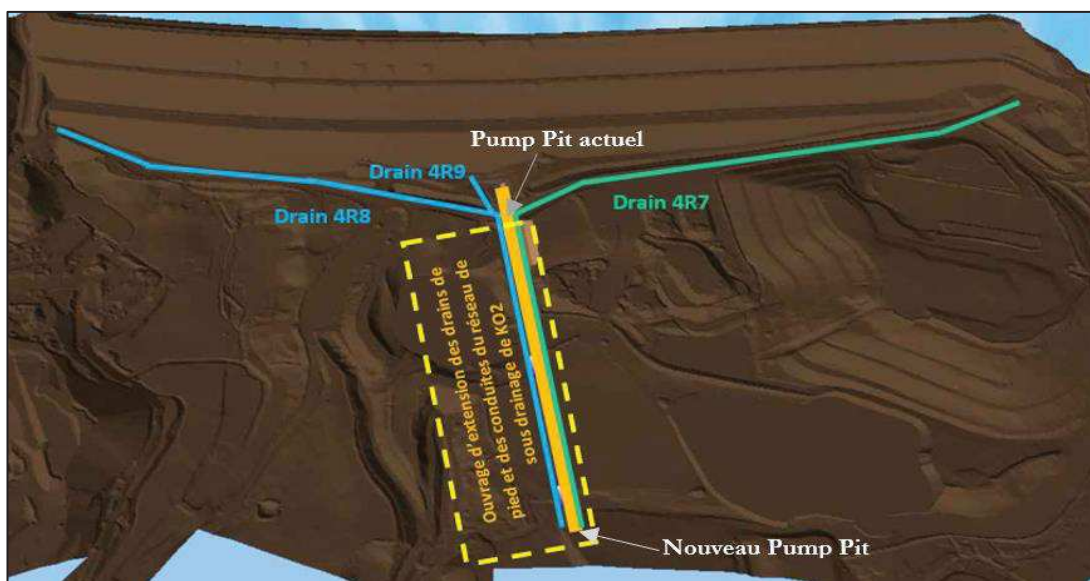


Figure 35 : Schéma de localisation des ouvrages de drainage

Ces conduites seront installées, sur l'ensemble du linéaire d'extension, dans des dalots préfabriqués en béton armé, et ce afin de les protéger du risque d'écrasement sous la charge exercée par le poids de la verse.

Il s'agit d'un ouvrage en béton armé composé d'éléments préfabriqués de trois types différents, de section intérieure (2mx0,8m) et d'épaisseur variant entre 0,3 m et 0,45 m, en fonction de la hauteur de la verse en résidus asséchés sus-jacente. Ces dalots seront posés sur une couche de remblai de substitution qui varie entre 0,85 m et 1,00 m d'épaisseur (Cf. Figure 36).

Une couche d'enrochements 50/150 mm est ensuite mise en place de part et d'autre de l'ouvrage en béton armé et jusqu'à 30 cm d'épaisseur au-dessus de l'ouvrage. De plus, deux conduites perforées en PEHD de diamètre DN110 sont mises en place de part et d'autre de l'ouvrage en béton armé. Ce système de drainage assure la continuité du drainage des sous écoulements du parc à résidus KO2 en cas de fuites à travers les conduites et l'ouvrage en béton armé (Cf. Figure 36).



Un nouveau puits de pompage aval sera aménagé afin de collecter les eaux de sous drainage du parc à résidus KO2 et les éventuelles fuites ainsi que les eaux de percolation de la verse Lucy (lixiviats). (Cf. Figure 37).



Le nouveau puits de pompage sera équipé d'un système de pompage permettant de pomper les eaux collectées vers le bassin de stockage des résidus KO2 ou en cas de besoin vers l'Unité de Préparation du Minéral (l'UPM).

3.5.1.2.3 Extension des drains horizontaux 206 S et 220 N

Le drain horizontal souterrain 220 N est constitué d'une conduite PEHD de diamètre 630 mm qui traverse l'appui Nord du barrage et se rejette dans le bassin de décantation KW-D33 situé en aval du barrage. Dans le cadre des travaux préparatoires de la zone aval, cette conduite sera prolongée jusqu'à l'aval. Elle sera placée dans une tranchée, au sein d'un lit de sable compacté.

Actuellement, ce drain est implanté entre les cotes 200 et 220 sur un linéaire de 1410 ml. Son extension vers l'aval se fera sur un linéaire de 787 ml et ce, jusqu'à atteindre la cote 170. La longueur totale du drain 220N sera ainsi de 2197 ml.

La coupe type de l'extension du drain est présentée dans la Figure 38.

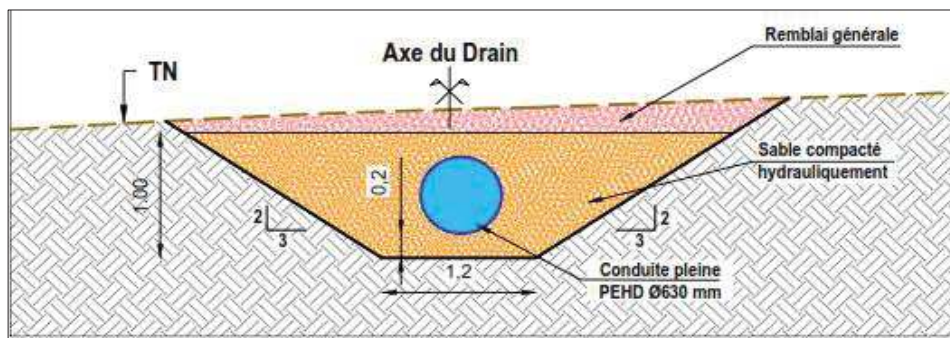


Figure 38 : Coupe type de la tranchée du drain 220N

Le drain horizontal souterrain 206 Sud est constitué d'une conduite PEHD de diamètre 800 mm qui traverse l'appui Sud du barrage et ressort en aval du pied du barrage dans le thalweg qui borde la carrière Audemard. Dans le cadre des travaux préparatoires de la zone aval, cette conduite sera prolongée jusqu'à l'aval. Elle sera placée dans une tranchée, au sein d'un lit de sable compacté.

Actuellement, ce drain est implanté entre les cotes 182 et 206, sur un linéaire de 1450 ml. Son extension vers l'aval (dans l'emprise de la verse Lucy) se fera sur un linéaire de 667 ml et ce jusqu'à atteindre la cote 145. La longueur totale du drain 206S après extension sera ainsi de 2117 ml.

La coupe type de l'extension du drain est présentée dans la Figure 39.

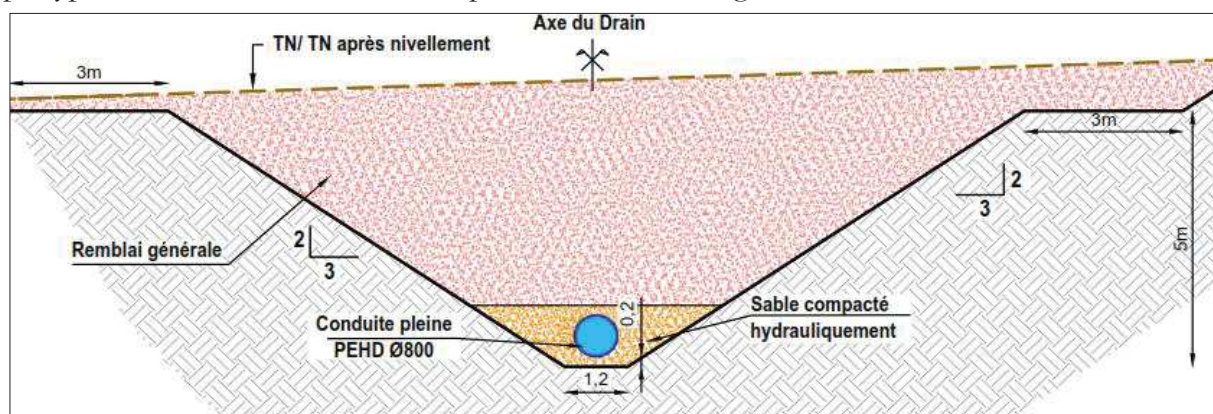


Figure 39 : Coupe type de la tranchée du drain 206 S

Les eaux collectées par ces drains seront acheminées vers deux exutoires en béton armé, afin de contrôler leur qualité durant et après la fin de construction de la verse.

3.5.1.2.4 Extension de drain de dérivation sud (Dérivation sud temporaire et permanente)

- Situation actuelle

Le système existant est un canal trapézoïdal localisé au sud du parc KO2 aménagé sur une distance de 667 m. Ce drain de dérivation temporaire est revêtu par un enrochement et est dimensionné pour une période de retour de récurrence décennale ($T=10$ ans). Il est aménagé en déblai avec des largeurs à la base variant entre 3 et 7 m.

- Drain de dérivation sud permanente

Le drain projeté constitue une extension du drain sud existant aménagé sur la rive Sud de la retenue du parc à résidus KO2. L'extrémité aval du drain sera connectée à la rivière Kwé.

Ce drain (sud permanent) permet de dévier les eaux afin de réduire le volume d'eau de pluie transitant par le bassin KO2 et la verse Lucy. Cela permet de réduire le besoin de traitement des eaux de contact.

L'ouvrage est aménagé en trois tronçons comme suit :

- ➔ Pour le tronçon N°1 : un canal trapézoïdal de 2 m de profondeur et 5 m de largeur à la base permet d'évacuer la crue de récurrence centennale. Au regard de la vitesse théorique d'écoulement, un enrochement de diamètre variant entre 500 et 1 000 mm est nécessaire pour limiter l'érosion engendrée par les eaux de ruissellements (Cf. Figure 40).
- ➔ Pour le tronçon N°2, une piste drainante composé d'un canal enroché de 3 m de largeur à la base et de 1 m de profondeur avec une piste de 4 m de largeur permet d'évacuer la crue de récurrence centennale. La piste est protégée par un merlon de 1 à 1,5 m de hauteur (Cf. Figure 41).
- ➔ Pour le tronçon N°3 : Les eaux collectées par le drain de dérivation Sud seront rejetées dans un affluent de la rivière KO2 située en amont de la carrière à Limonites Sud. Avant l'aménagement de la dérivation Sud permanente, ce cours d'eau naturel draine un bassin versant de superficie égale à 6,5 ha. Il présente une longueur de 350 m et sa pente naturelle maximale est de 10 %.) Après aménagement de la dérivation permanente, ce cours d'eau drainera un bassin versant de superficie égale à 60,37 ha. Il est ainsi recommandé de conforter le point de rejets par la mise en place d'enrochement le diamètre varie de 500 mm à 1000 mm et ce, sur un linéaire de 60 m (jusqu'à atteindre la confluence avec un autre affluent de la KO2).

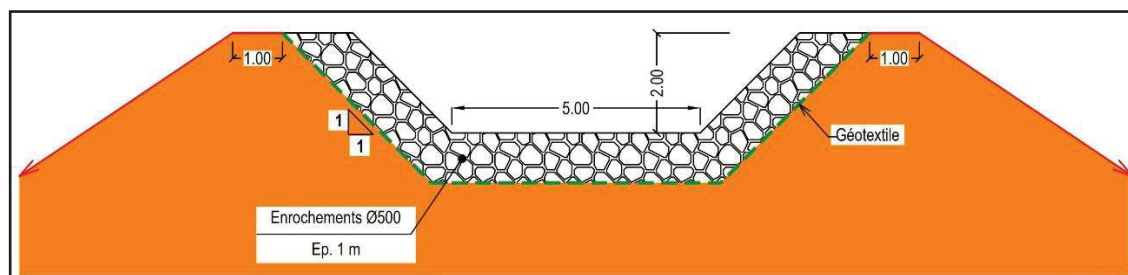


Figure 40 : Coupe type du canal trapézoïdal

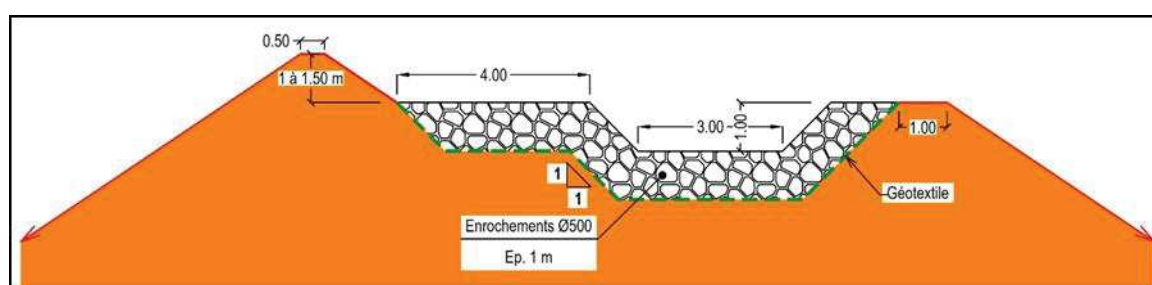


Figure 41 : Coupe type de la piste drainante

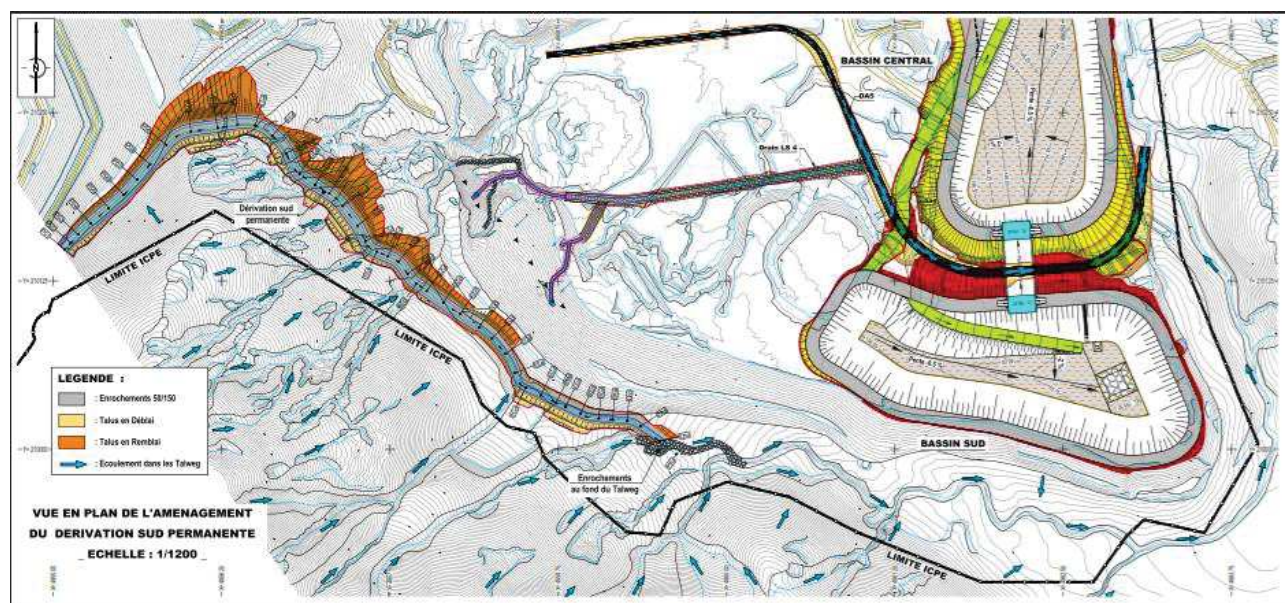


Figure 42 : Vue en plan de l'aménagement du drain de dérivation sud permanent

3.5.1.2.5 Extension des câbles d'instrumentation

Actuellement, 7 enregistreurs automatiques (dataloggers) sont utilisés dans le cadre de la surveillance du parc à résidus KO2.

Les enregistreurs KO2-DL5-DA3 et KO2-DL6-DA4 se trouvent dans l'emprise de la verse LUCY. Dans le cadre des travaux préparatoires, il est donc prévu de déplacer ces équipements en aval de la verse et d'étendre les câbles des piézomètres à corde vibrante associés à chaque enregistreur.

L'extension des câbles associés à l'enregistreur KO2-DL5-DA3 sera réalisée à travers l'ouvrage d'extension du système de sous drainage et des drains de pied du barrage KO2.

L'extension des câbles associés à l'enregistreur KO2-DL6-DA4 sera réalisée dans une tranchée spécifique.

Les câbles seront posés sur un lit de sable et protégés par une couche de remblai compacté..

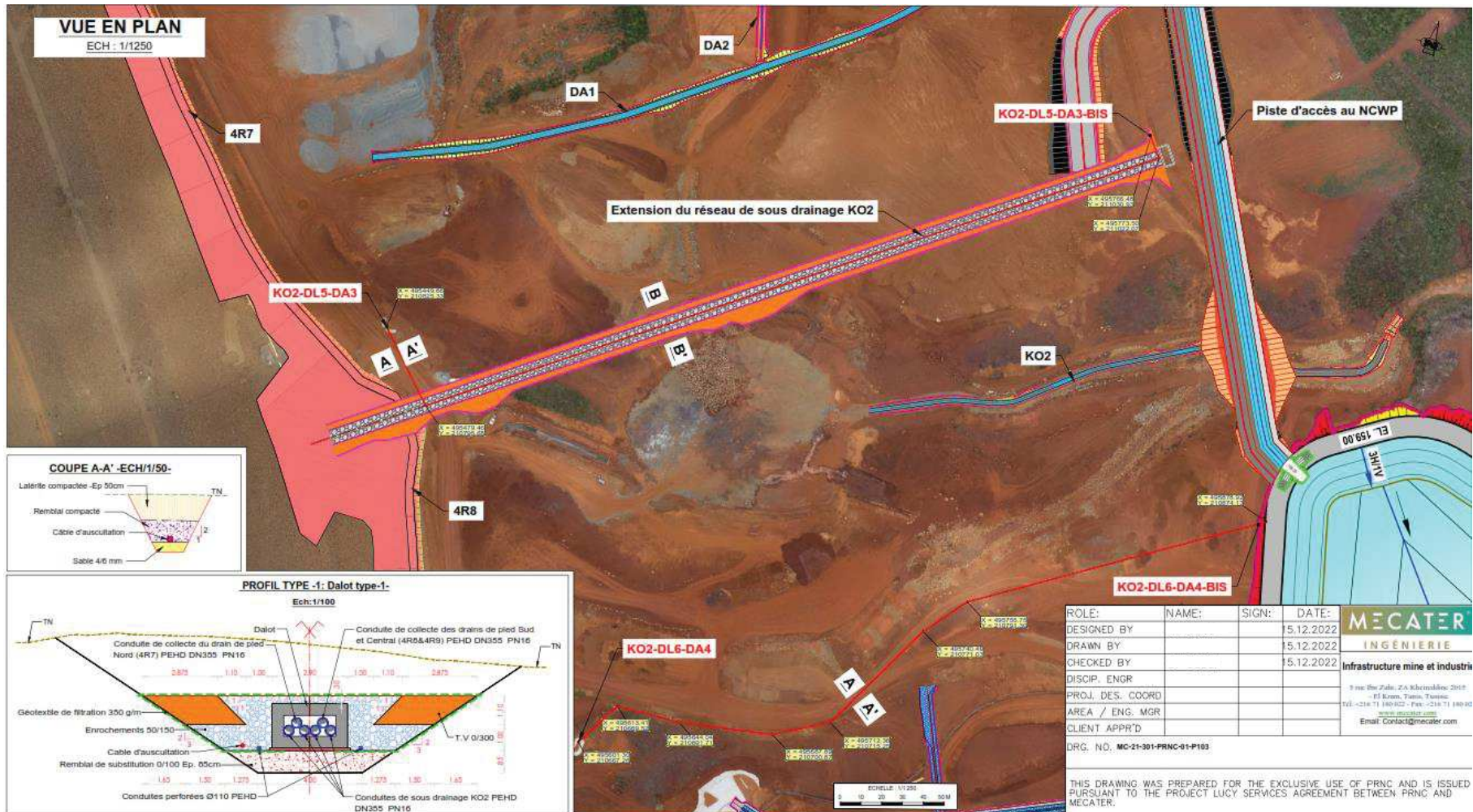


Figure 43 : Vue en plan de l'extension des câbles d'instrumentation en aval du barrage KO2

3.5.1.3 Construction des systèmes de drainage de la verse Lucy

3.5.1.3.1 Construction du réseau de drainage sous la barrière étanche

Un système de drainage des sous écoulements sera aménagé sous la barrière étanche de la verse Lucy. Il s'agit d'un réseau ramifié qui comporte plusieurs connexions permettant d'évacuer les eaux interceptées vers l'aval de la verse. Le drainage se fait par des drains en enrochements équipés de conduites crépinées.

La vue en plan du réseau est présentée dans le plan MC-21-301-PRNC-01-P031 (EXT-140-8315-01-0068). Le plan MC-21-301-PRNC-01-P031 est présenté en Annexe D.

Ce système comprend :

- Le drainage des eaux des résurgences de la nappe répertoriées dans l'emprise de la verse Lucy : Il s'agit des deux sources d'eau WK17 et WK20 identifiées en aval du parc à résidus KO2. D'autres sources ont été récemment identifiées en aval du parc à résidus KO2, il s'agit des sources LS1, LS2, LS3, LS4 et LS5.

Les sources d'eau LS1, LS2 et LS3 se situent à proximité du réseau de drainage mis en place dans le cadre des travaux préparatoires pour collecter les eaux de sources WK17 et WK20.

Les deux sources d'eau LS4 et LS5 se situent en amont de la carrière à limonite sud (CLS).

- Le drainage des eaux issues d'éventuelles remontées localisées de la nappe dans l'emprise du projet et canalisées par les drains DA1, DA2, DA3, DA4, DA5 et DA6.

Les conduites de captage des sources WK17 et WK 20 seront connectées au niveau de leurs extrémités amont à un ouvrage de captage en béton armé et au niveau de leurs exutoires à un regard de contrôle de débit et de la qualité des eaux.

Ces ouvrages sont aménagés par des enrochements équipés de conduites crépinées tels que présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 : Débits intercepté par chaque drain & Système de drainage retenu

Drain	Débit calculé	Pente minimale	Section calculée du drain en enrochement	Section retenue du drain en enrochement
	(l/s)	(%)	(m²)	(m²)
DA1-amont	12.63	1,7	0.18	1 m² + conduite DN 110
DA1-aval	61.27	1,7	1.8	1.8 m² + conduite DN 110
DA2	17.70	0.7	0.98	1 m² + conduite crépinée DN 110

Drain	Débit calculé	Pente minimale	Section calculée du drain en enrochement	Section retenue du drain en enrochement
	(l/s)	(%)	(m ²)	(m ²)
DA3	18.32	0.8	0.74	1 m ² + conduite crépinée DN 110
DA4	12.45	1.8	0.45	1 m ² sans conduite
DA5 amont	15.40	0.5	0.81	1 m ² + conduite crépinée DN 110
DA5 aval	70.11	0.5	4.18	4.5 m ² + 3 conduites crépinées DN 110
DA6	14.05	1	0.72	1 m ² sans conduite
LS1	10.00	0.5	0.41	1 m ² + conduite crépinée DN 110
LS2	10.00	0.5	0.41	1 m ² + conduite crépinée DN 110
LS3	10.00	2	0.36	2.5 m ² sans conduite
LS4 amont	10.00	6.12	0.01	1 m ² + conduite crépinée DN 110
LS4 aval	31.03	1.40	1.04	1 m ² + conduite crépinée DN 110
LS5	10.00	9.31	0.16	2.5 m ² sans conduite

3.5.1.3.2 Barrière étanche

La barrière étanche est installée sur toute l'emprise de la verse Lucy afin de limiter les infiltrations des eaux de percolations vers l'assise de la verse.

Elle est constituée d'une couche continue de latérites compactées de 50 cm d'épaisseur qui repose directement sur la zone terrassée et sur le système de drainage des sous écoulements. Cette couche sera compactée à 95% de l'OPM, pour atteindre une perméabilité de 10⁻⁸ m/s.

Afin d'anticiper les problématiques liées essentiellement à l'approvisionnement de la latérite de bonne qualité (en termes d'étanchéité), notamment dans la zone amont de la verse Lucy, la couche de latérite sera combinée à un géosynthétique bentonitique « GSB » (ou « GCL » en anglais : Géosynthétique Clay Liner). La perméabilité équivalente de ce système (Limonite sur 50 cm + GCL) est de 10⁻⁸ m/s.

3.5.1.3.3 Système de collecte des lixiviats

Le système de drainage des eaux de percolation est constitué d'un géocomposite de drainage permettant d'intercepter les eaux de percolation et les acheminer vers les trois regards de collecte.

Les eaux collectées seront évacuées vers 3 exutoires constitués par des regards en béton armé pour être acheminées par la suite vers le nouveau puits de pompage installé en aval de la verse Lucy.

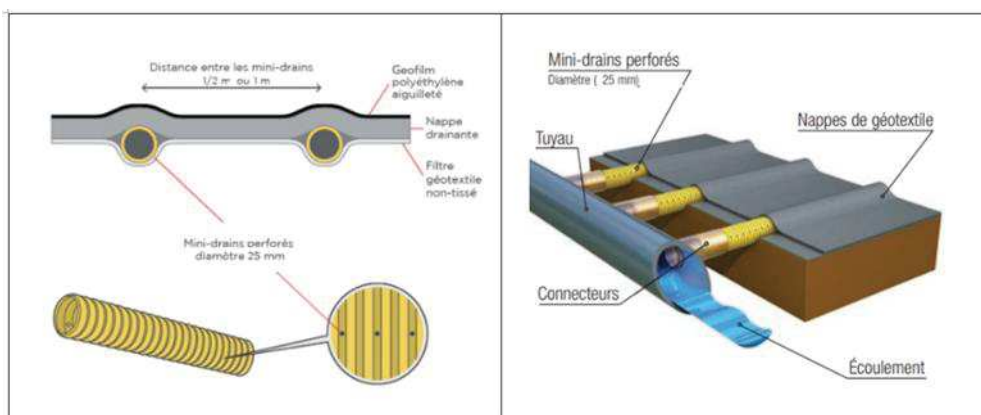


Figure 44 : Système de collecte des eaux de percolation (lixiviats)_ Solution alternative : Utilisation du géocomposite de drainage

Le plan d'implantation du réseau de collecte des lixiviats est présenté en Annexe E.

3.5.1.3.4 Construction des bassins des eaux de contact

Des bassins sont construits pour la collecte des eaux de pluies entrant en contact avec les résidus de la verse et communément appelées eaux de contact.

Au total 3 bassins sont prévus (Cf. Figure 46) : bassin Nord, bassin Central et bassin Sud.

La capacité totale de ces bassins est d'environ 529 800 m³.

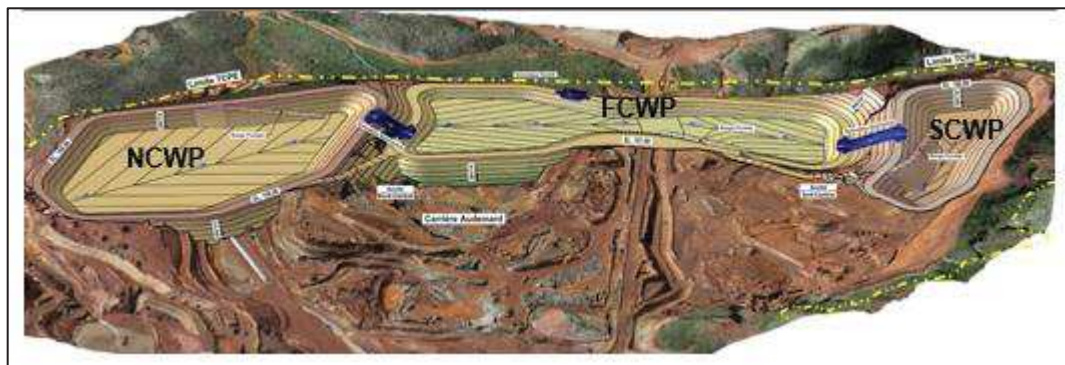


Figure 45 : Vue 3D de l'aménagement général des bassins d'eaux de contact (Mecater 2022)

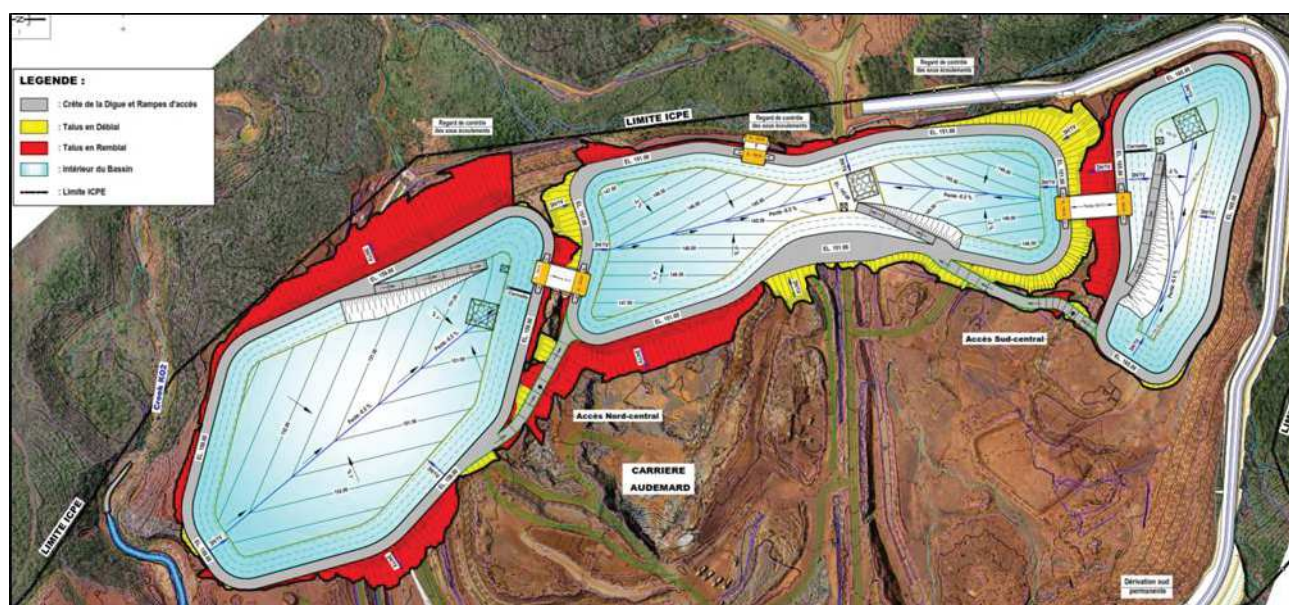


Figure 46 : Vue en plan des bassins d'eaux de contact (Mecater 2022)

Des descentes d'eaux sont prévues au niveau des talus de la verse. Ces descentes sont soit connectées directement aux bassins Nord et Sud, soit au chenal nord qui permettra d'acheminer les eaux vers le bassin Nord.

Le transfert des eaux vers le bassin central est assuré par un système de conduites métalliques perforées « clarinettes », constitué d'une buse perforée, un regard de collecte des eaux et d'une conduite en PEHD ou en béton.

Les transferts entre les trois bassins des eaux de contact sont organisés de façon que la décantation de la matière solide soit réalisée dans les bassins Nord et Sud. Seules les eaux claires sont transférées vers le bassin Central.

Le bassin Central est, quant à lui, muni d'un dispositif de vidange par pompage d'une capacité de 300 m³/h, qui permet d'envoyer les eaux collectées soit vers le bassin de stockage du parc à résidus KO2 soit vers l'Unité de Préparation du Minerai (UPM). En cas

d'évènements pluvieux importants, un déversement pourra avoir lieu depuis les bassins nord et sud vers le bassin Central à travers les évacuateurs de crues.

Pour le bassin Central, le déversement se fera vers l'environnement à travers un évacuateur de crues.

Les caractéristiques des trois bassins d'eaux de contact, le bassin Nord, Central et Sud, sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 21 : Caractéristiques des bassins d'eaux de contact

Caractéristique	Bassin Nord	Bassin central	Bassin Sud
Type de l'ouvrage	Déblai remblai	Déblai	Déblai
Emprise du bassin (ha)	5.82	5.06	2,3
Capacité totale (m3)	291 750	137 000	101 050
Hauteur maximale au niveau de l'axe des digues (m)	16	6	10
Largeur en crête de la digue (m)	10	10	10
Classe	C	C	C

Chaque bassin comporte à sa base :

- Un système d'étanchéité ;
- Un système de détection de fuites au travers du système d'étanchéité ;
- Un système de collecte des sous écoulements pour éviter d'éventuelles remontées d'eaux souterraines sous les bassins.

Dans le détail, ces systèmes sont constitués, de haut en bas, par (Cf. Figure 47) :

1. Un système d'étanchéité constitué d'une double géomembrane à l'intérieure de laquelle est intercalée une couche de géocomposite de drainage ;
2. Un système de détection de fuites connecté à la couche de géocomposite de drainage et constitué par des drains en enrochements pourvus d'une conduite crépinée. L'ensemble (enrochements et conduite) débouche dans un puisard équipé d'un système de pompage. Les eaux collectées sont alors pompées vers le bassin des eaux de contact considéré ;
3. Une couche d'étanchéité secondaire constituée par une couche de 30 cm de latérites ;
4. Un système de drainage des sous écoulements constitué par des drains en enrochements et une conduite crépinée qui débouchent dans un regard de collecte

équipé d'un déversoir. Les eaux collectées sont rejetées vers le milieu naturel si la qualité s'avère bonne. Dans le cas contraire, un système de pompage est installé afin de refouler les eaux vers le bassin.

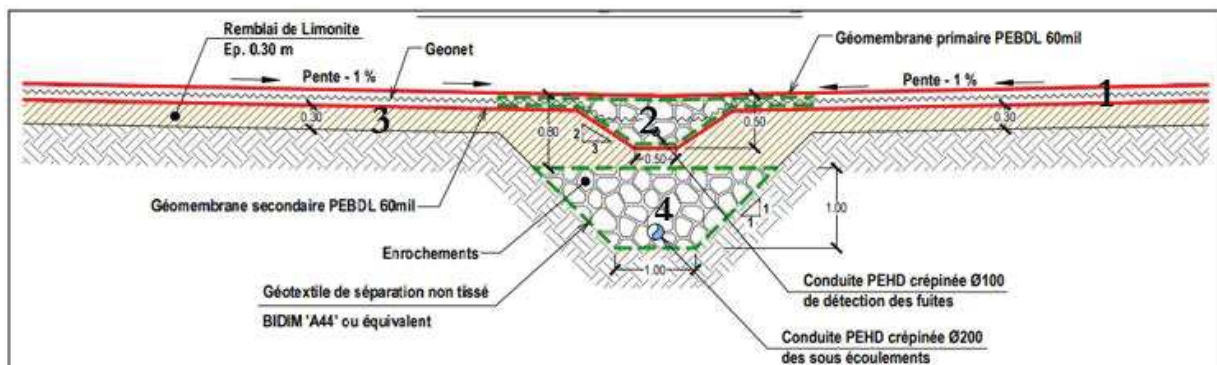


Figure 47 : Systèmes de détection des fuites et d'étanchéité aménagés au niveau des bassins d'eaux de contact

Le bassin des eaux de contact Nord est le premier bassin à aménager. Il permet la gestion des eaux de contact jusqu'à la phase 7, ce qui correspond aux trois premières années d'exploitation de la verse. Il sera équipé d'un évacuateur de crues provisoire afin d'évacuer, d'une manière contrôlée, les eaux de ruissellement vers l'environnement en cas de forte précipitation.

La vue en plan des bassins des eaux de contact est présentée dans l'Annexe F.

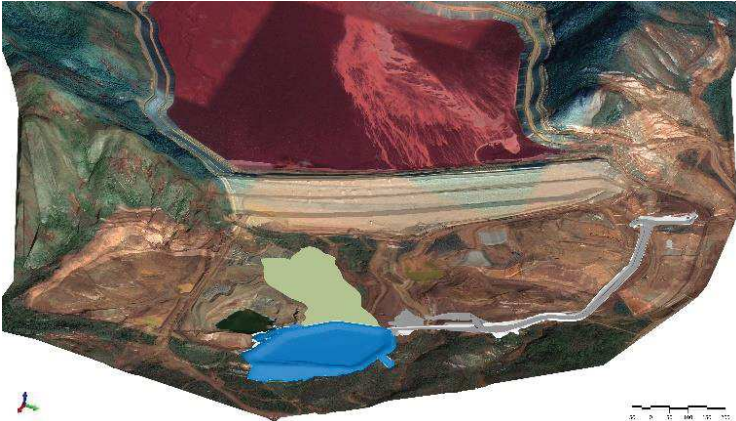
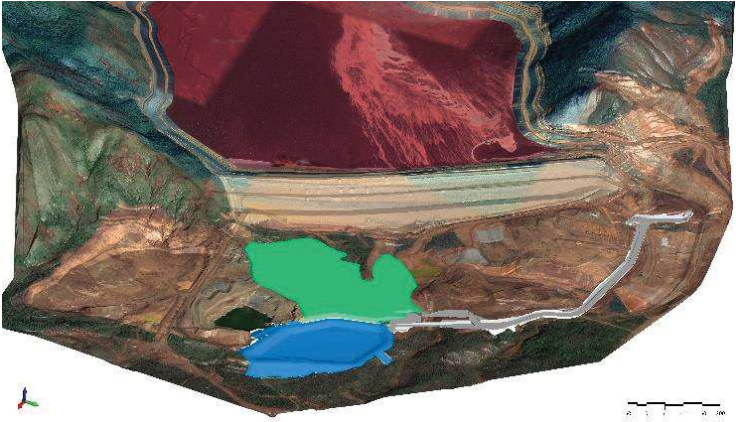
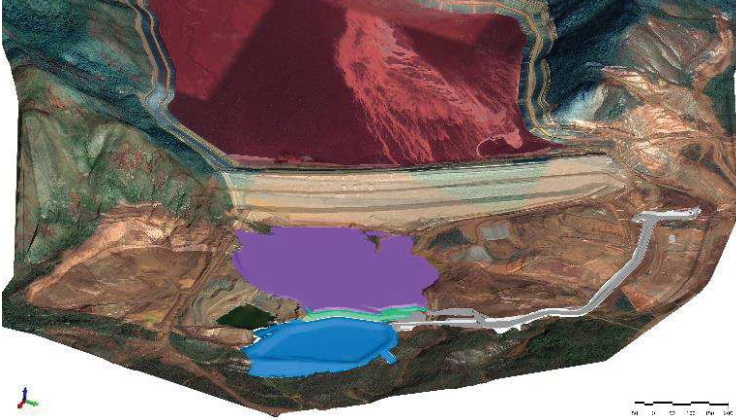
3.5.2 Etape 2 : Phase de confortement du barrage

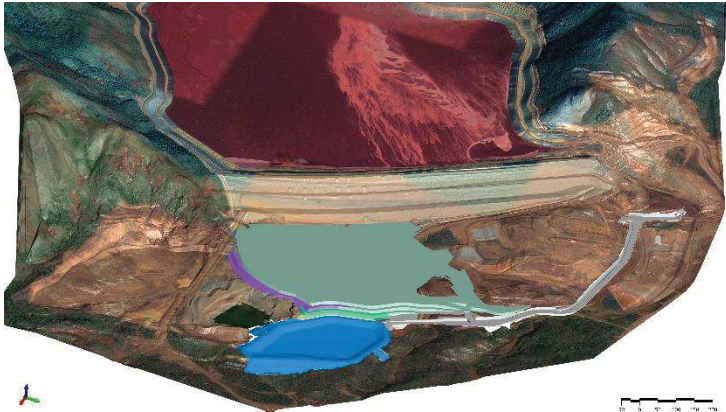
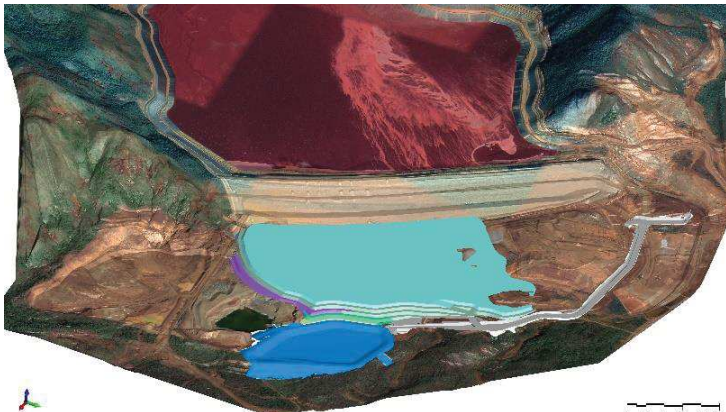
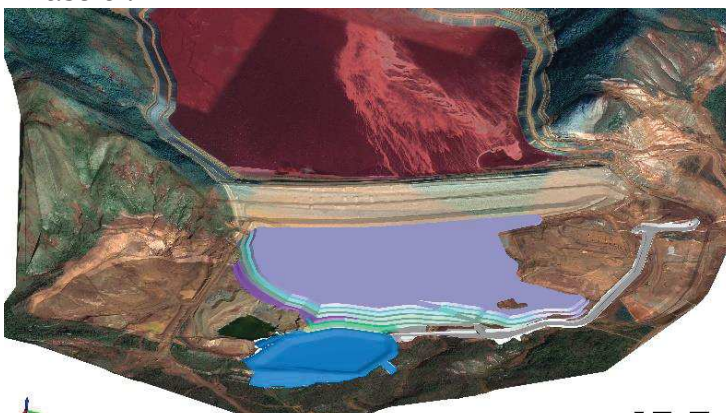
Cette étape correspond aux 7 premières phases de construction de la verse Lucy jusqu'à la cote 190 m NGNC. Cette cote correspond à la cote de la première banquette du barrage KO2.

Cette phase de confortement permettra au barrage KO2 de répondre aux critères de l'ANCOLD 2019 vis-à-vis des critères de stabilité dans les conditions non drainées et post sismiques (sur tous les profils).

Elle permettra notamment au barrage de résister aussi bien au séisme de type SBE de récurrence 475 ans et au séisme SEE, de récurrence 10 000 ans

Tableau 22 : Phasage de construction de la verse Lucy (Phase de confortement)

Phases de construction de la verse	Volume partiel en m ³	Volume cumulé en m ³
Phase 1 : 	290 789	290 789
Phase 2 : 	484 471	775 260
Phase 3 : 	753 579	1 528 839

Phases de construction de la verse	Volume partiel en m ³	Volume cumulé en m ³
Phase 4 : 	990 095	2 518 934
Phase 5 : 	1 178 089	3 697 023
Phase 6 : 	1 381 465	5 078 488

La date prévisionnelle de démarrage du stockage des résidus asséchés est juillet 2023.

Le confortement intermédiaire du barrage sera atteint au bout de 23 mois, soit à la fin de la phase 5 (de la rive sud jusqu'à la coupe CH700), et le confortement total sera, quant à lui, atteint à la fin de la phase 7.

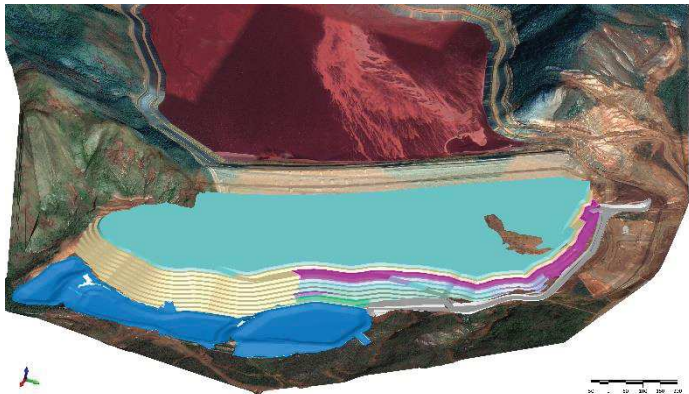
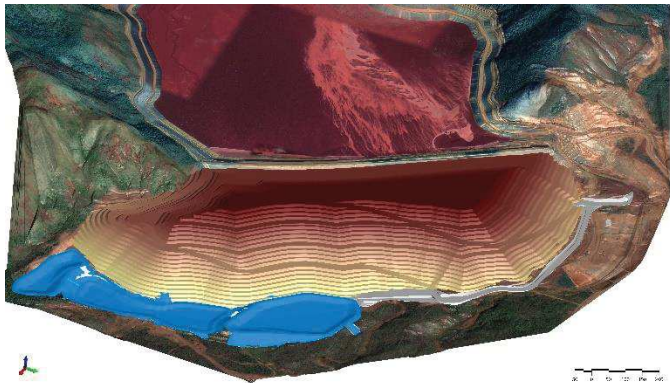
Le volume total de résidus à stocker pour finaliser le confortement du barrage est de **6,583 Mm³**. Ce confortement devrait être atteint au bout de 34 mois.

3.5.3 Etape 3 : Phase finale de construction de la verse

Cette phase consiste à continuer la construction de la verse Lucy jusqu'au niveau final, soit jusqu'à la cote 252 NGNC.

Cette étape de construction durera environ **(8 ans)** et sera scindée en 2 phases (**Phase 8 et Phase 9**).

Tableau 23 : Phasage de construction de la verse Lucy (Phase finale)

Phases de construction de la verse	Volume partiel en m ³	Volume cumulé en m ³
Phase 8 : 	9 257 277	15 840 755
Phase 9 : 	15 159 245	31 000 000

La verse Lucy sera alors constituée par :

- Des déblais excédentaires ;
 - Des résidus asséchés issus de l'usine DWP2 ;
 - Des enrochements utilisés pour la construction des renforts (internes et externes).
- Les enrochements présentent un pourcentage de 5% du volume.

Sur cette base, la verse Lucy offre une capacité de stockage d'environ 31,9 Mm³ réparties comme présenté dans le tableau suivant.:

Tableau 24 : Volume des matériaux stockés dans la verse Lucy

Matériaux	Volume en Mm ³
Déblais excédentaires	0,900
Résidus asséchés et enrochements	31,000
- Résidus asséchés	29,400
- Enrochements (environ 5% du volume stocké)	1,600

3.5.4 Etape 4 : Travaux de fermeture et de réhabilitation de la verse Lucy

3.5.4.1 Fermeture et réhabilitation de la verse

Des dispositions permettant de réduire les infiltrations à travers la plateforme sommitale de la verse et de prévenir l'érosion des talus sont prévues. Ces mesures sont principalement les suivantes :

- Lissage et nivellement de la plateforme sommitale avec pente minimale de 2% et création de fils d'eau vers les descentes d'eau ;
- Fermeture de la plateforme sommitale par une couche de 50cm topsoil ou latérites de recouvrement légèrement compactées afin de minimiser les infiltrations et assurer un écoulement des eaux de surface transitant à travers la plateforme sommitale vers les descentes d'eau ;
- Plantation des arbres au niveau de la plateforme sommitale afin de prévenir son érosion ;
- Fermeture et re-végétalisation des talus par la mise en place d'une couche de latérite (ou terre végétale si disponible) légèrement compactée mise en place par une pelle hydraulique pour réduire les mouvements de blocs et débris végétaux, (épaisseur en tête de talus de 10cm et en pied de talus 1m). Les façades de latérite seront fixées au pied de talus par un merlon rocheux de tout venant qui favorisera aussi l'infiltration des eaux de ruissellement sur les banquettes. Une toile de jute sera plaquée sur la latérite avant de procéder à l'hydroseeding. Ceci permettra une meilleure croissance de la végétation.

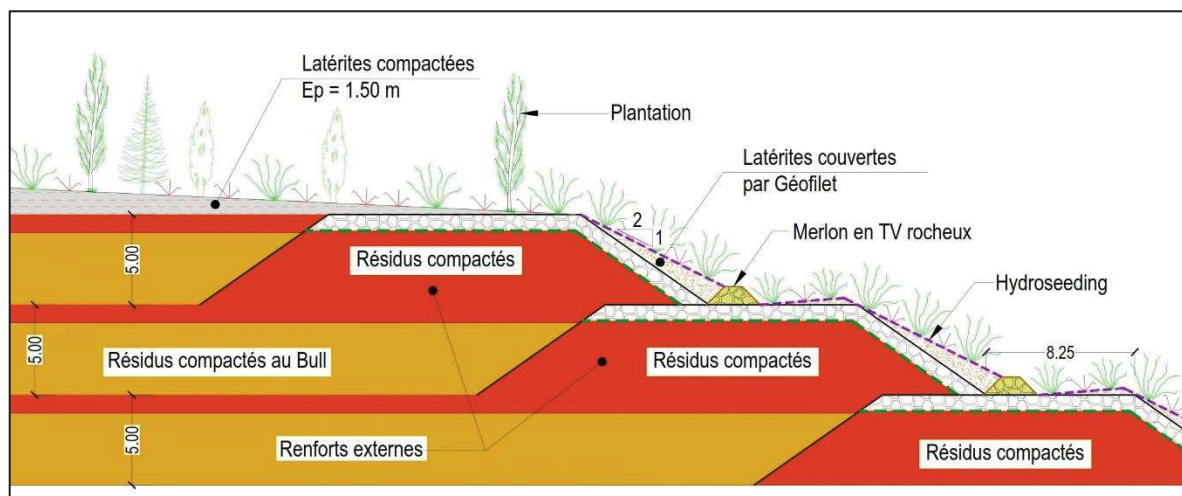


Figure 48 : Travaux de réhabilitation de la verse

La gestion des eaux de ruissellement au niveau des talus se fera moyennant des descentes d'eau enrochées et aménagées sur les flancs de la verse selon un espacement qui permet l'évacuation des eaux sans débordement sur les façades revégétalisées.

3.5.4.2 Fermeture et réhabilitation des bassins des eaux de contact

La fermeture des bassins des eaux de contact sera réalisée 2 ans après la fermeture complète de la verse. Durant ces deux années, un suivi régulier sera assuré afin de vérifier la qualité chimique des eaux et leur turbidité. Cette période, avant fermeture des bassins, pourrait être prolongée si les résultats s'avéraient non satisfaisants.

En phase de fermeture, les bassins des eaux de contact seront entièrement vidangés. Les modalités de remise en état prévues sont les suivantes :

- Découpage, enlèvement et évacuation de la géomembrane ;
- Démantèlement des tuyauteries et récupération du système de pompage et équipements associés ;
- Comblement du fond des bassins avec les matériaux stériles constituant les digues d'enclôture. Cela permettra d'éviter le transport de matériaux d'apport de l'extérieur du site et de limiter le roulage des camions ;
- Mise en œuvre de terre végétale et re-végétalisation de l'emprise des bassins avec des espèces adaptées aux conditions de hydromorphie temporaire.

3.6 Analyse fonctionnelle interne de la verse Lucy

L'analyse fonctionnelle interne de la verse Lucy est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Analyse fonctionnelle interne de la verse Lucy

Ouvrage	Elément de l'ouvrage	Fonction principale	Fonction contrainte
Verse y compris renforts internes et externes	Verse à résidus asséchés	Stocker les résidus asséchés	<ul style="list-style-type: none"> - Rester stable - Résister à l'érosion
	Casiers de stockage	Assurer le stockage des résidus	<ul style="list-style-type: none"> - Être disponible conformément à la séquence de remplissage - Stocker les résidus en respectant le sens du poussage et des pentes
	Renforts internes non enrochés	Assurer la traficabilité pendant la période sèche	<ul style="list-style-type: none"> - Rester stable - Résister à l'érosion
	Renforts internes et externes enrochés	Assurer la traficabilité pendant la période pluvieuse et la dissipation des pressions interstitielles dans la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Rester stable - Ne pas colmater - Résister à l'érosion
Barrière d'étanchéité	Couche de latérite compactée	Barrière passive permettant de limiter la contamination des eaux souterraines par les lixiviats de la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Rester imperméable
Système de drainage situé à la base de la verse	Système de drainage des lixiviats	Barrière active permettant de collecter les eaux de percolation de la verse pour traitement, limiter la contamination des eaux souterraines et contribuer à l'amélioration de la dissipation des pressions interstitielles à la base de la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas colmater - Résister aux déformations
	Système de drainage des sous écoulements	Drainer les eaux souterraines et limiter la remontée des eaux de la nappe dans la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas colmater - Résister aux déformations

Ouvrage	Elément de l'ouvrage	Fonction principale	Fonction contrainte
Puisards de collecte des lixiviats	Système de pompage vers le puits de pompage aval	Collecter les eaux de percolation de la verse et pomper les eaux vers le nouveau puits de pompage aval	- Être opérationnel pour éviter le débordement des puisards
Système de gestion des eaux de contact	Système de drainage des casiers de stockage (buses)	Assurer le drainage des casiers de stockage des résidus	- Ne pas colmater
	Descentes d'eau	Assurer la collecte des eaux de contact	- Ne pas colmater - Résister à l'érosion
Bassin des eaux de contact	Digues	Stocker les eaux de contact issues de la verse	- Rester stable - Résister à l'érosion
	Système d'étanchéité (Géomembrane)	Minimiser les infiltrations	- Rester étanche
	Système de transfert des eaux de contact	Transférer les eaux de contact des bassins nord et sud vers le bassin central	- Ne pas fuir - Ne pas rompre
	Système de drainage des sous écoulements	Drainer les eaux souterraines afin de dissiper les pressions interstitielles sous la géomembrane	- Ne pas colmater
	Système de collecte des fuites y compris système de pompage	Collecter puis pomper les eaux de fuite vers le bassin concerné	- Être fonctionnel pour ne pas contaminer les eaux souterraines
	Système de pompage des eaux de contact vers le parc à résidus KO2	Pomper les eaux de contact vers le parc à résidus KO2 à raison de 300 m ³ /h	- Être fonctionnel pour éviter le débordement des eaux de contact depuis le bassin central
	Canalisation de transfert des eaux de contact du bassin central vers le bassin de stockage KO2 (Conduite PEHD DN 355)	Refoulement des eaux de contact vers le parc à résidus KO2	- Ne pas fuir - Ne pas rompre

Ouvrage	Elément de l'ouvrage	Fonction principale	Fonction contrainte
Ouvrages d'extension des réseaux du parc à résidus KO2 existants	Extension du réseau de sous drainage du parc à résidus KO2	Evacuer les eaux collectées vers l'aval de la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas colmater - Ne pas fuir - Ne pas rompre
	Extension des drains horizontaux 206 S et 220 N	Evacuer les eaux collectées vers l'aval de la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas colmater - Ne pas fuir - Ne pas rompre
	Extension du drain de dérivation sud	Réduire les eaux météoritiques entrant en contact avec la verse	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas s'obstruer
Evacuateur des crues du barrage KO2	Seuil déversant (marches), bassin de dissipation, chenal d'évacuation et exutoire	Evacuer les crues (CMP) de période de retour de 1 000 000 ans pour maintenir la côte PHE en amont	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas s'obstruer - Rester stable

3.7 Description de l'environnement de l'ouvrage et analyse fonctionnelle externe

3.7.1 Contexte climatique du site

3.7.1.1 Contexte climatique général

La Nouvelle-Calédonie est constituée de plusieurs îles situées entre la latitude 18° sud et le tropique du Capricorne. Elle est soumise à l'action de plusieurs facteurs climatiques et géographiques qui en font un archipel au climat très contrasté, qualifié de tropical océanique.

Dans les facteurs géographiques, il faut surtout retenir la présence de la chaîne centrale, un massif montagneux qui sépare la « Grande Terre » (île principale) longitudinalement et qui a une influence très importante sur le climat. L'océan joue un rôle régulateur tout en influençant le climat localement. De plus, il faut noter la présence du récif barrière, une formation corallienne qui ceinture la Grande Terre et protège le littoral des vagues océaniques.

Les saisons sont bien marquées et comprennent des types de temps très différents : un temps chaud et humide en été et un temps plutôt frais et sec en hiver.

Les deux saisons principales sont définies ainsi :

➔ De novembre à avril :

C'est la saison chaude et humide, dite « saison des cyclones ». L'influence tropicale est prédominante et le temps est rythmé par la position de la ZCPS (« Zone de convergence du Pacifique Sud ») et de la ZCIT (« Zone de Convergence Intertropicale »), ainsi que par les trajectoires des dépressions tropicales. Les précipitations sont abondantes et les températures moyennes sont élevées bien que les extrêmes soient limités par l'influence maritime et les alizés. La Nouvelle-Calédonie se trouve néanmoins dans une région très touchée par les dépressions tropicales.

➔ De mai à septembre :

C'est la saison fraîche. La ZCIT se trouve dans l'hémisphère nord et la ZCPS se décale vers le nord-est. Les perturbations des régions tempérées remontent vers le nord et les fronts froids associés peuvent affecter la Nouvelle-Calédonie où ils se manifestent par des précipitations. Ces épisodes perturbés interrompent un temps généralement sec et frais avec des températures minimales relativement basses.

Les intersaisons s'intercalent entre ces deux saisons principales, mais la transition n'est cependant pas toujours évidente à distinguer :

- ➔ La saison sèche, de septembre à novembre, est à cheval entre la saison fraîche et la saison chaude. Cette partie de l'année se caractérise par des précipitations très faibles associées à des températures fraîches la nuit, mais de plus en plus élevées la journée sous l'action du rayonnement solaire qui atteint son maximum en décembre ;
- ➔ D'avril à mai, c'est une saison de transition entre la fin de la saison chaude et le début de la saison fraîche. Les perturbations tropicales sont rares ou peu actives. Cependant, la température de l'eau de mer encore chaude peut favoriser la formation d'épisodes pluvio-orageux, voire de dépressions subtropicales.

Cet ensemble de facteurs concourt à l'irrégularité du climat sur l'ensemble du territoire, tout particulièrement pour les deux paramètres principaux, la pluie et le vent, qui ont une très grande variabilité spatiale et temporelle. En effet, l'alizé subit également d'importantes influences locales qui prennent une importance considérable dès lors que l'on s'écarte de la bande littorale vers l'intérieur des terres. Quant aux précipitations, elles dépendent aussi bien du relief, que de la saison et des phases ENSO (« El Niño Southern Oscillation »).

Les facteurs climatiques sont dominés par l'activité cyclonique qui est le risque majeur auquel est soumis l'archipel de façon régulière pendant la saison chaude. D'autres paramètres ont cependant une influence non négligeable sur le climat :

- ➔ Le phénomène ENSO qui affecte surtout l'activité cyclonique et le régime des précipitations ;
- ➔ Les alizés qui soumettent la Nouvelle-Calédonie à un flux régulier d'est/sud-est modéré à assez fort. Ils limitent les températures maximales et sont responsables, avec le relief, de la répartition très inégale des précipitations.

3.7.1.2 Conditions climatiques du site

- Précipitations

Les données pluviométriques sont issues principalement de la station Goro résidus et de la station Ancienne pépinière.

La station « Ancienne pépinière » a été retenue pour les études de conception de la verse Lucy.

L'analyse des données issues de la station ancienne pépinière montre que :

- La pluviométrie moyenne mesurée sur une durée de 23 ans (1997 à 2020) au niveau de la mine de Goro est de 3 130 mm/an. Le maximum annuel a été observé en 2008 avec un cumul de 4 847 mm/an et le minimum annuel a été mesuré en 2005 avec un cumul de 1 769 mm/an ;

- La moyenne des pluviométries maximales journalières mesurées chaque année est de 242 mm/j avec un maximum mesuré le 14 janvier 2011 (durant le cyclone Vania) qui est de 472.5 mm/j ;
- La répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle mesurée sur une durée de 23 ans montre que les fortes précipitations sont enregistrées entre Décembre et Avril. Les faibles précipitations sont observées du mois de Mai à Novembre. La période la plus sèche correspond à Octobre et Novembre ;
- Le nombre moyen de jours de pluie ($\geq 1\text{mm/j}$) par an est égal à 180 j/an avec un minimum de 154 j/an et un maximum de 218 j/an (Tableau 26). Par ailleurs, le nombre de jours où la pluie dépasse les 10 mm/j est en moyenne égal à 70 j/an. Il est de 14 j/an pour les pluies dépassant les 50 mm/j et de 4 j/an pour les pluies dépassant les 100 mm/j ; Cf. Tableau 26.

Tableau 26 : Statistiques sur le nombre de jours de pluie par an

	Pluviométrie $\geq 1\text{mm}$	Pluviométrie $\geq 5\text{mm}$	Pluviométrie $> 10\text{mm}$	Pluviométrie $\geq 20\text{mm}$	Pluviométrie $\geq 50\text{mm}$	Pluviométrie $\geq 100\text{mm}$
Moyenne	180	107,33	70.45	39.58	14,25	4.04
Min	154	80	48	25	5	0
Max	218	132	100	65	32	8
Ecart type	16.3	14.7	14.1	10.2	6.18	2,14

L'intensité de la pluie est déduite à partir des courbes intensité-durée-fréquence établies par SNC- Lavalin en 2013 et ceci à partir des données pluviométriques observées à la station ancienne pépinière du site.

Tableau 27 : Intensité des pluies (mm/h) issues des courbes IDF (SNC Lavalin, 2013)

Durée (min)	Période de retour (années)					
	2	5	10	20	50	100
6	124,2	152,5	171,3	189,3	212,5	230
15	108	128	144	160	184	196
30	88	100	112	126	142	154
60	64	77	88	98	111	121
120	46,5	57,5	65,5	74	85	93
1440	10,3	14,3	16,9	19,5	22,8	25,3
2880	6	8,6	10,2	11,9	14,1	15,7
4320	4,3	6,3	7,6	8,9	10,5	11,8
7200	3	4,4	5,4	6,3	7,5	8,3
14400	1,8	2,6	3,3	4	4,8	5,4

- Vent

Il existe plusieurs stations météorologiques dans le Grand Sud et à proximité du projet qui permettent d'avoir des informations sur les conditions météorologiques régionales. Les données recueillies montrent les résultats suivants :

- ➔ Station météorologique Météo France de la rivière blanche (poste de mesure en temps réel) située à ~30 km de la zone d'emprise, enregistre des vents dominants (à 54,1 %) de direction ouest (240° - 280°) et d'une intensité le plus souvent comprise entre 2,9 et 8,7 m/s ;
- ➔ Station du site Goro_ancienne pépinière (station PRNC), située à 6,2 km de la zone d'emprise du projet, enregistre majoritairement des vents d'intensité de 1,5 à 4,5 m/s et de direction est-nord-est et sud ;
- ➔ Station de Goro_Usine (station VNC) à 3,5 km de la zone d'étude enregistre sur la même période des vents dont l'intensité est majoritairement comprise entre 1,5 et 4,5 m/s et de direction prédominante est-sud-est.
- ➔ Station « GORO_RESIDUS » montre des vents dominants qui proviennent principalement du nord-est et sud/sud-ouest (direction différente de celles habituellement rencontrées sur le territoire : alizés du sud-est). Les intensités de ces vents sont majoritairement comprises entre 4,5 et 8,0 m/s pour les vents en provenance du nord-est et entre 1,5 et 4,5 m/s pour ceux en provenance du sud-ouest.

Ces valeurs montrent une grande disparité de direction et de vitesse des vents. Ces différences sont liées aux effets de reliefs qui modifient localement la direction et la force du vent.

Les vents est à sud-est sont les plus fréquents et sont communément appelés « alizés ». Ces vents présentent généralement des intensités de valeur moyenne à faible.

- Température

En Nouvelle-Calédonie, les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont enregistrées en février durant la saison chaude, où elles sont voisines de 25°C. Durant la saison fraîche, les températures moyennes mensuelles les plus basses sont enregistrées en juillet-août, période pendant laquelle elles sont voisines de 18°C.

Au niveau de la station ancienne pépinière, la température la plus élevée (32,1 °C) a été enregistrée le 01/03/2020 (record établis sur la période du 01/12/2010 au 19/04/2021).

La température la plus basse (10,7 °C) a été enregistrée le 04/09/2017 au niveau de la même station.

- Evapotranspiration

L'évapotranspiration moyenne annuelle mesurée par météo France au niveau du site de Goro (Usine, Ancienne Pépinière et Résidus) est égale à 1 100 mm/an. La variation interannuelle est faible. En effet, l'écart moyen mesuré sur une durée d'observation de 6 ans est de l'ordre de 4%.

Au cours d'un cycle hydrologique, l'évapotranspiration est maximale entre le mois d'octobre et le mois de janvier avec un cumul mensuel de l'ordre de 130 mm. Elle est minimale entre le mois de mai et le mois d'août avec un cumul moyen mensuel de l'ordre de 60 mm.

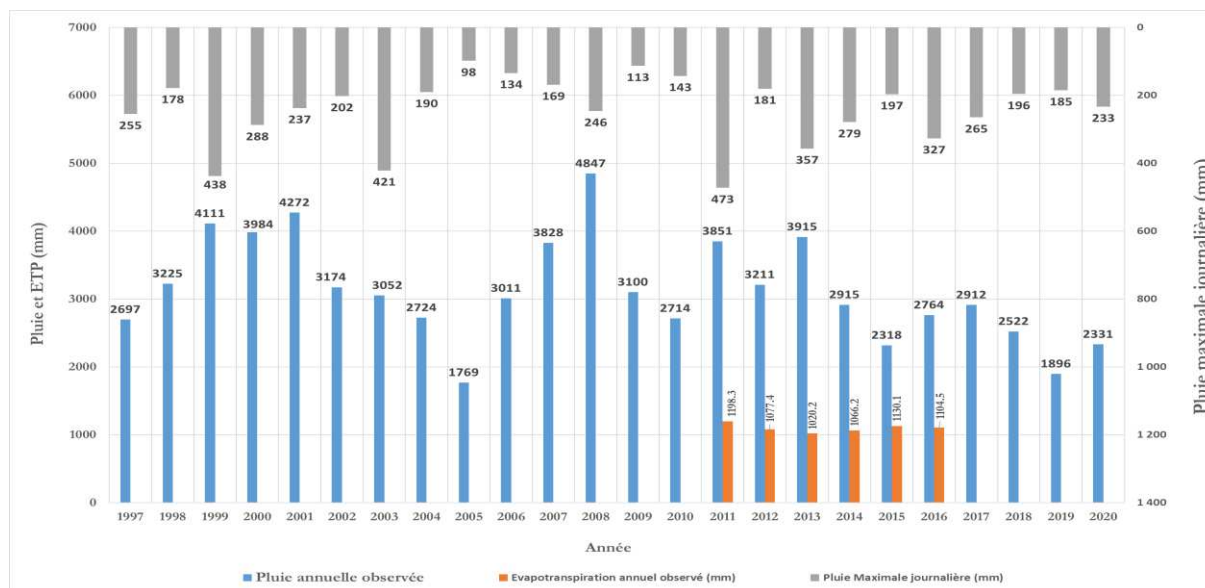


Figure 49 : Pluviométrie et évapotranspiration annuelles du site de Goro

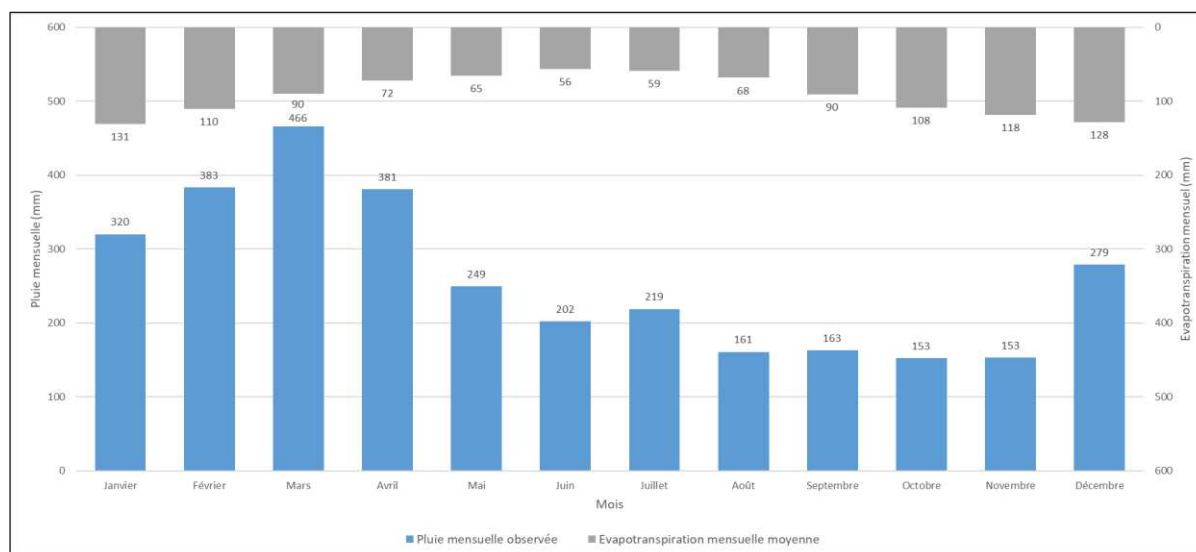


Figure 50 : Pluviométrie et évapotranspiration mensuelles du site de Goro

- Phénomènes climatiques extrêmes

Lors de la dépression tropicale Vania en janvier 2011, entre 400 et 475 mm de précipitation ont été observés en 24 heures sur le site minier, ce qui représente environ 15% de la pluie annuelle.

En juillet 2013 (saison sèche), des orages inhabituellement forts et durables pour la saison ont affecté la Nouvelle-Calédonie et plus particulièrement la chaîne et le quart sud-est de la Grande Terre. La station de « GORO_RESIDUS » a enregistré des précipitations quotidiennes de 294,4 mm et 152,5 mm les 2 et 3 juillet, puis de 324,4 mm le 28 juillet. De telles intensités pluvieuses avaient déjà été observées auparavant, mais jamais en juillet.

3.7.1.3 Contexte hydrographique

La verse Lucy est projetée à l'aval du parc à résidus KO2 qui est situé sur le bassin versant de la Kwé Ouest. Ce bassin versant ainsi que les bassins versants la Kwé Nord et de la Kwé Est se déversent dans le bassin de la Kwé principale. La rivière principale Kwé, formée par les trois affluents provenant des bassins versants, se jette dans le canal de Havannah via la baie de la Kwé.

La zone d'étude se localise principalement au niveau de trois sous-bassins juxtaposés de la Kwé-Ouest (KO1, KO2 et KO3) (Cf. Figure 51)

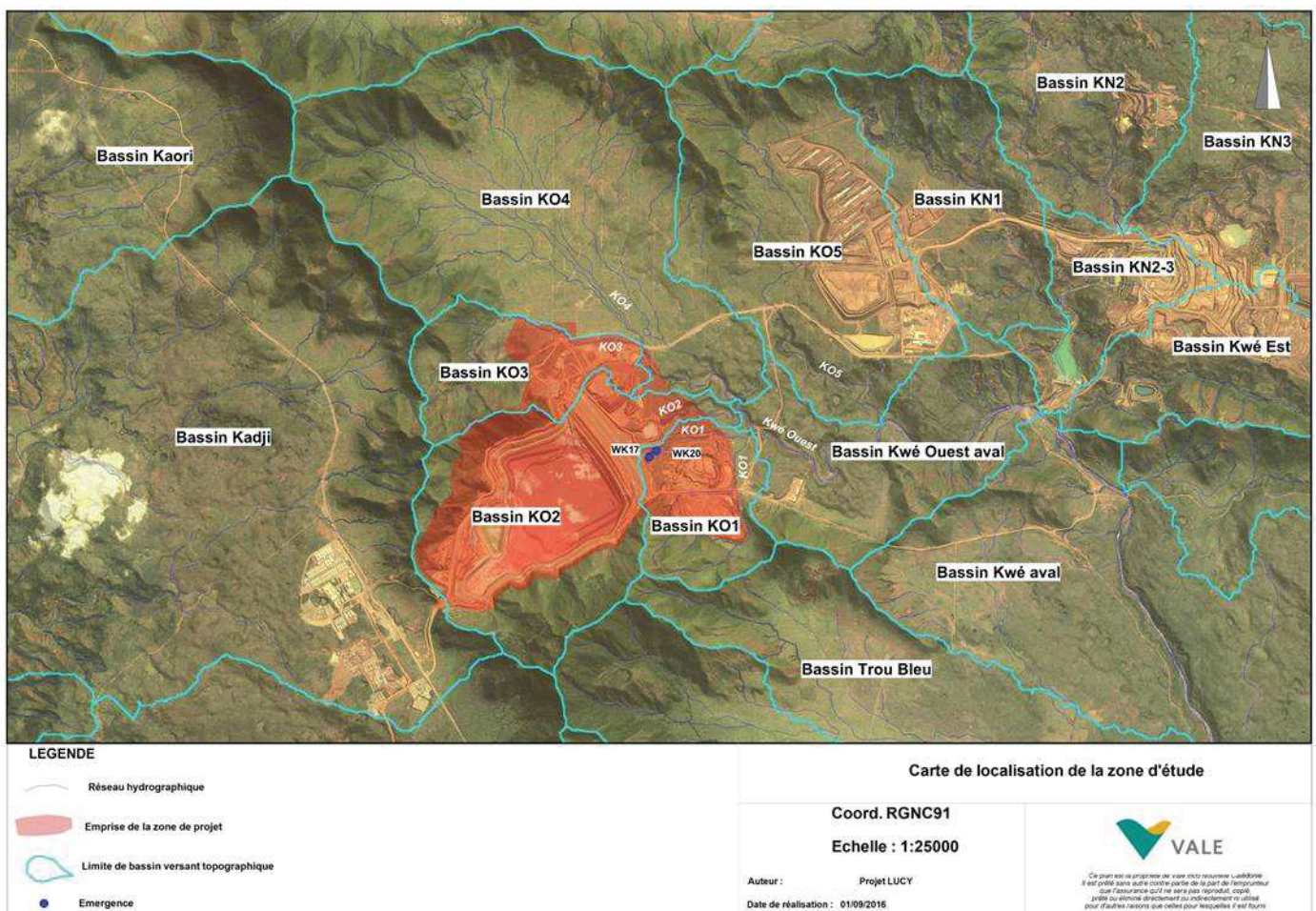


Figure 51 : Localisation des bassins-versants de la Kwé Ouest [Réf.2]

3.7.1.4 Contexte géologique et structural

- Profil lithologique :

L'épaisseur du profil lithologique de Goro varie de 40 à 60 m et plusieurs horizons géologiques sont différenciés :

- Cuirasse : La cuirasse est une couche indurée d'oxydes de fer (hématite) et d'hydroxydes de fer (goethite) constituant le sommet du profil latéritique. Elle résulte souvent de la compression d'un sédiment meuble composé des hydroxydes de fer contenus dans les débris ferrugineux en place ou remaniés (grenaille, concrétion, fragments de cuirasse plus ancienne) en roche consolidée. Du fait de son durcissement et du lessivage des couches inférieures, il est fréquent de rencontrer des cavités sous la cuirasse ;
- Grenaille : Le terme « grenaille » désigne des structures minérales sphériques (grains) présentant une granulométrie millimétrique à centimétrique, sans matrice ou à matrice fine de latérite. Ces gravillons sont constitués de goethite (hydroxyde de fer) et de latérite (minéral sédimentaire composé d'amas d'hydroxydes de fer microcristallin) associées très localement à de la chromite (minéral composé d'oxyde de chrome et de fer), fragmentée et érodée, héritée de la roche mère ;
- Latérite sédimentaire (appelée aussi colluvions) : Cette formation est discordante. Elle est très difficile à caractériser et est principalement constituée de latérite rouge riche en grenaille, et d'éléments provenant de l'érosion et de l'altération de péridotites transportées (bastites, minéraux résiduels de chromites, galets altérés). Cet horizon se rencontre le plus souvent dans des environnements fluvio-lacustres, au sein desquels le dépôt de matériaux remaniés in situ est le plus fréquent ;
- Latérite rouge : Cet horizon correspond à une zone de latérite de couleur rouge brique à brun rouge, constituée presque exclusivement de goethites et d'hématites bien cristallisées de granulométrie de l'ordre de quelques microns. Au sein de cet horizon, on distingue encore des éléments pisolithiques, dans la matrice latéritique, qui disparaissent toutefois vers le bas du profil. On détecte également des minéraux disséminés de chromite. Les latérites dont l'origine est allochtone sont généralement des latérites rouges, mais il peut exister des latérites rouges en place sur des profils non remaniés ;
- Latérite jaune : La latérite jaune, appelée « limonite » par les Anglo-Saxons, présente des enrichissements en nickel et cobalt. Elle a une couleur jaune et une granulométrie de quelques microns. La structure résiduelle de la roche mère (péridotite : harzburgite ou dunite) peut être observée. Elle est composée de goethite cristallisée en fines aiguilles (goethite cryptocristalline) et de gibbsite (hydroxyde d'aluminium). Sa teneur en nickel est généralement supérieure à 1 % et sa teneur en magnésie inférieure à 1 % ;
- Transition (appelée aussi saprolite terreuse) : Au sein de cet horizon, la structure de la roche est encore visible mais elle commence à s'écraser. L'altération de tous les silicates résiduels prend fin au niveau de la couche de transition. Il s'agit d'un matériau très humide et peu compact. Les concentrations en cobalt et manganèse

sont les plus fortes dans cet horizon, ces deux éléments étant presque invariablement associés sous forme d'asbolane. Sa teneur en nickel est généralement plus élevée que l'horizon sus-jacent tout comme sa teneur en magnésie qui varie de 1 à 8 %. D'ailleurs, c'est le critère géochimique utilisé pour définir le toit (1 % d'oxyde de manganèse - MgO) et la base (8 % MgO) de cet horizon. Rarement, des blocs de roches altérées sont présents dans cet horizon ;

- Saprolite rocheuse : La saprolite rocheuse comprend des blocs de roche saine emballées dans une matrice argileuse (saprolite terreuse). Ce niveau d'altération fait l'objet d'une classification selon une typologie définie par PRNC : cette classification varie de 1 à 4, avec le degré d'altération 1 qui correspond à une roche saine et le degré d'altération 4 qui correspond à une roche très altérée, généralement friable. Les taux de magnésie et de silice augmentent brusquement tandis que le fer chute. La granulométrie est très variable (de quelques microns à des dimensions plurimétriques) et ne présente aucun granoclassement. Les concentrations en éléments exploitables se situent dans les granulométries les plus fines (moins de 50,8 mm) ;
- Roche mère : Le substratum rocheux régional est constitué par des péridotites saines (harzburgite ou dunite). Il est désigné sous le terme bedrock et l'acronyme BRK dans la base de données géologique de PRNC. Selon la classification utilisée par PRNC, le toit de la roche mère est défini par des degrés d'altération 1 et 2 qui deviennent majoritaires sur trois mètres consécutifs de carottage avec moins de 15 % de zones de degrés d'altération 3, 4. La dernière passe ne doit pas se terminer sur une zone de degrés 3 ou 4.

En se basant sur les données des différentes campagnes de reconnaissances et d'investigations réalisées dans l'emprise de la verse, un modèle géologique a été élaboré en utilisant le logiciel Geomodeller et qui permet de visualiser les différentes couches et structures géologiques en profondeur.

Cinq couches géologiques ont été identifiées dans l'emprise de la verse. Il s'agit, de haut en bas, des couches suivantes : colluvions, latérite, saprolite terreuse, saprolite rocheuse et la roche mère.

Les résultats de la modélisation géologique sont présentés dans la figure suivante :

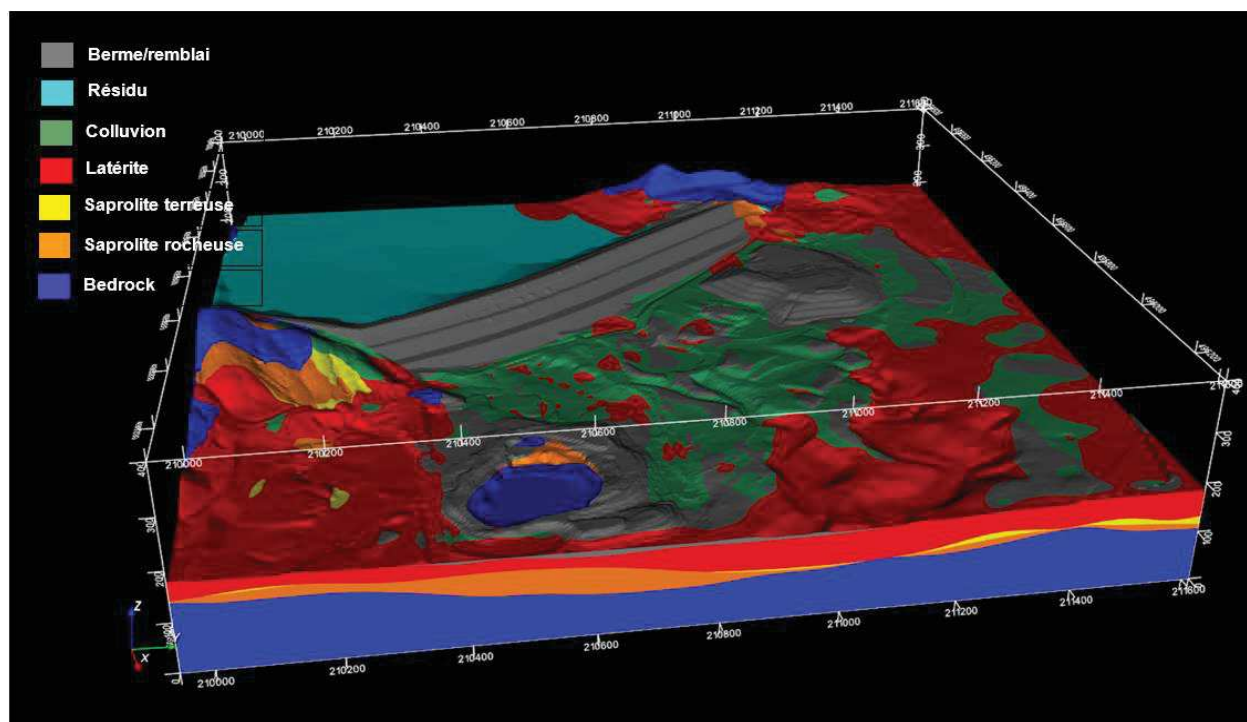


Figure 52 : Modèle géologique global (Mecater 2022)

- Géologie structurale

La région Sud de la Nouvelle Calédonie est caractérisée par la présence d'un jeu de failles parallèles et perpendiculaires à l'axe d'allongement de la Grande Terre.

Cette région est traversée par quatre familles de failles suivant 4 directions principales :

- Nord-est/sud-ouest ;
- Nord-nord-ouest/sud-sud-est ;
- Est/ouest (rarement observée dans la zone de la Kwé Ouest) ;
- Nord-sud qui tend à guider les systèmes pseudo-karstiques.

De nombreux indices de la présence de failles sont visibles dans la région. Ils correspondent à des affleurements de roches broyées (plutôt rares), à des décrochements latéraux horizontaux ou verticaux des lignes de crêtes, à des tracés de rivière marqués par des formes en chevrons avec des pertes par infiltration plus ou moins marquées et à des alignements de zones de subsidence et de dépressions topographiques circulaires et fermées de toutes tailles, dont la morphologie est proche de celle des dolines rencontrées en milieu carbonaté.

Dans le domaine minier calédonien, ces dépressions sont appelées dolines sans distinction sur leur nature réelle et les phénomènes impliqués dans leur formation. Ce terme est également employé pour désigner les cavités de suffosion qui correspondent souvent à des

effondrements de subsurface des cuirasses, par érosion mécanique de la couche meuble sous-jacente.

A l'échelle régionale, quelques rapports et publications scientifiques traitent de l'existence de systèmes dits pseudo-karstiques dans le régolite de péridotite. Ces travaux ont montré que la karstification de la péridotite, préalable nécessaire à la formation de systèmes karstiques, est une réalité.

Mais il s'agit essentiellement d'analyses géomorphologiques régionales complétés par la description locale d'objets caractéristiques des pays karstiques (lapiatz, dolines et poljés) et non de démonstrations hydrodynamiques. De fait, l'existence effective de ces systèmes ainsi que la réalité de leur fonctionnement hydrodynamique sont longtemps restées hypothétiques et ce jusqu'à ce que des essais par traçage concluants soient réalisés dans le secteur de Goro entre 2008 et 2012.

Sur la base des résultats obtenus, il est apparu que le pseudo-karst typique de la zone de Goro, est un système peu développé, constitué par un seul point d'entrée et un seul point de sortie (système unitaire non ramifié), et dont la longueur est au mieux kilométrique. Ce faible développement spatial, comparé à celui d'un karst carbonaté, est dû à la nature de la karstification de la péridotite.

Cette karstification nécessite une altération chimique puis une érosion interne, ce qui nécessite beaucoup plus d'énergie que la simple dissolution des carbonates. De plus, l'altération de la péridotite est incongruente : Elle produit un résidu (la latérite) qui est peu perméable, si bien que les pseudo karsts de péridotite ont naturellement tendance à s'autocolmater.

Ils ne peuvent donc fonctionner que dans des conditions très particulières, qui correspondent aux zones de crêtes rocheuses avec une faible épaisseur de recouvrement latéritique, un impluvium constitué par un bassin endoréique de quelques dizaines à quelques centaines d'hectare et un fort dénivelé entre le point d'entrée et le point de sortie (plus de 50 m).

La présence de pseudo karsts hydrauliquement fonctionnels dans les zones plates (bassins et plateaux) reste hypothétique. Etant donné le faible niveau d'énergie disponible (peu d'énergie potentielle en raison du faible dénivelé, peu de zones de concentration du ruissellement de grande taille), et la forte épaisseur du profil d'altération (de l'ordre de 60 m), il est assumé que les éventuels systèmes présents sont fossilisés et non fonctionnels.

Ce caractère non fonctionnel est cohérent avec les constats faits sur les talus de la fosse minière qui recoupe la totalité du profil d'altération du plateau de Goro sur un linéaire de l'ordre de 5 km de long. Aucune venue d'eau à débit significatif n'a été observée depuis le démarrage de l'activité minière en 2009.

A l'échelle du bassin versant de la rivière Kwé, plusieurs milliers de dépressions circulaires fermées sont présentes. Elles prennent généralement la forme d'objets très plats, peu profonds avec des fonds sans ouvertures visibles, le plus souvent comblés par des dépôts sédimentaires recouverts par un petit plan d'eau. Cette morphologie particulière tend à suggérer que ces objets sont d'anciennes dolines colmatées associées à d'éventuels systèmes pseudo-karstiques fossilisés. Si ces dolines ne jouent plus de rôle en matière de dynamique pseudo-karstique, elles peuvent néanmoins rester des zones privilégiées de recharge des eaux souterraines.

Les failles participent également à cette dynamique pseudo-karstique puisqu'elles peuvent constituer des chemins préférentiels pour les écoulements souterrains qui ont favorisé, au fil des temps géologiques, les processus d'altération de la péridotite. Néanmoins, le moteur de leur fonctionnement reste l'énergie disponible. Pour cette raison, ces objets sont considérés comme colmatés par des latérites dans les zones de bassins et de plateau. Cependant, il ne s'agit pas de limites étanches mais bien de zones de circulation des eaux souterraines avec des flux contraints par la faible perméabilité des formations latéritiques qui participent au colmatage.

3.7.1.5 Contexte hydrogéologique

Deux systèmes hydrogéologiques ont été identifiés dans l'emprise de la future verse Lucy :

- ➔ Un système superficiel de colluvions latéritiques comportant un niveau phréatique non pérenne et discontinu qui peut localement affleurer en surface lors des pluies ou se rabattre au toit des latérites sous-jacentes en saison sèche ;
- ➔ Un système multicouche, constitué de haut en bas, par des latérites et des saprolites terreuses de faible perméabilité en surface (aquitard latéritique) puis par des saprolites rocheuses et des péridotites fracturées de perméabilité plus forte en profondeur (aquifère principal). Cet ensemble est alimenté par les infiltrations de pluies et par la nappe phréatique temporaire logée dans les colluvions.

L'aquitard est drainé par l'aquifère principal (principalement via la porosité primaire de la latérite) ce qui se traduit par l'existence d'un gradient hydraulique vertical descendant assez important.

Dans le secteur des sources WK17 et WK20, le gradient hydraulique vertical s'inverse et l'aquifère principal présente un comportement artésien.

3.7.2 Description de l'environnement à proximité du site

3.7.2.1 Milieu naturel

Sept réserves spéciales sont situées à proximité du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy. Il s'agit des réserves suivantes :

- ➔ Réserve Spéciale Botanique du Pic du Grand Kaori, située en limite nord-ouest du parc à résidus ;
- ➔ Réserve Spéciale Botanique de la Forêt Nord, située au sud, à proximité immédiate du parc à résidus ;
- ➔ Réserve Spéciale Botanique du Pic du Pin (12 km au ouest nord-ouest) ;
- ➔ Réserve Spéciale Botanique des Chutes de la Madeleine (10 km nord-ouest) ;
- ➔ Réserve Spéciale Botanique du Barrage de Yaté (17 km au nord) ;
- ➔ Réserve Spéciale Botanique de la Fausse Yaté (15 km nord) ;
- ➔ Réserve Spéciale Botanique du Cap Ndua (7 km au sud).

Depuis 2008, le Grand Lagon Sud est inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO. Cette zone classée, qui débute avec la réserve Yves Merlet, représente un enjeu fort pour l'exploitation du site minier. Ce lagon n'est pas en contact direct avec la rive et l'embouchure de la Kwé, mais est localisé à une distance supérieure à 5 km.

Le canal de la Havannah, situé entre ce lagon et la terre, constitue une zone tampon marine.

La figure suivante présente l'emplacement des réserves spéciales botaniques, la réserve Yves Merlet ainsi que la zone d'emprise du Grand Lagon Sud.



Figure 53 : Localisation des aires protégées à proximité du parc à résidus KO2 (site internet de la province Sud : <https://www.province-sud.nc/>)

3.7.2.2 Zones d'habitations et établissements voisins

Les zones de populations permanentes les plus proches sont (Cf. Figure 54) :

- La base vie de l'exploitation à 2 km à l'ouest ;
- Le centre de villégiature touristique « Kanua Tera Ecolodge », situé le long de la côte est de la Baie de Port Boisé (situé à plus de 6 km du barrage et en dehors du bassin de la rivière Kwé) ;
- Le village de la tribu de Goro (8 km à l'est du parc KO2) ;
- Le camping de Port Boisé.

La localisation des différentes infrastructures est présentée dans la Figure 54.

3.7.2.3 Zones touristiques

La zone touristique la plus proche est la Baie de Port Boisé (Cf. Figure 54).

Plusieurs itinéraires touristiques sont possibles dans le secteur (à pied, en vélo, en voiture ou en kayak). Le principal sentier de randonnée de la région est le GR NC1, dont l'itinéraire passe par la baie de la Somme, l'Anse Sebert et continue jusqu'à la rivière bleue.

Le Cap N'Dua est une réserve naturelle de 830 ha assez fréquentée et située au sud du parc à résidus et qui possède une aire aménagée pour l'observation de la reproduction des baleines à bosses de juillet à fin septembre. Aucune interférence directe n'est présente avec le parc à résidus.

Le parc à résidus KO2 n'est perçu que de peu d'endroits, depuis les chemins de randonnées parcourant les lignes de crête des monts Néngoné et depuis le chemin qui longe le Mont Kwa Néi au pic de l'Antenne.

3.7.2.4 Voie de communication

L'accès au parc à résidus se fait par la route reliant la mine et l'usine en passant par le nord du bassin et le Col de l'Antenne. Le trafic routier est relativement important. Il est toutefois à usage exclusif du personnel PRNC et du personnel sous-traitant dûment autorisé. Une barrière permanente avec un poste de garde (présence 24 h/24 h) permet le contrôle de l'accès à cette route.

Deux clôtures grillagées bordent latéralement la route publique longeant le site industriel.

Des rondes de surveillance sont effectuées sur l'ensemble du site (port, usine, parc à résidus, centre industriel de la mine et de l'unité de préparation du minerai) par un service de gardiennage, en complément des rondes techniques assurées par les opérateurs des unités, présents 24 h/24 h.

Bien que le village de Goro ne soit pas situé dans le bassin-versant de la Kwé, une route communale d'accès au village existe en aval du parc à résidus. Cette route traverse en différents points la rivière Kwé.

Une nouvelle route d'accès à la Mine en cours de construction au nord du parc à résidus devrait à terme permettre à l'ensemble des véhicules circulant en direction de ou depuis la mine d'éviter le parc à résidus. Une fois cette nouvelle route mise en service, la circulation aux alentours du parc à résidus se limitera alors aux véhicules liés à l'exploitation et la surveillance du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy.

Les voies de communication sont présentées au niveau de la Figure 54.

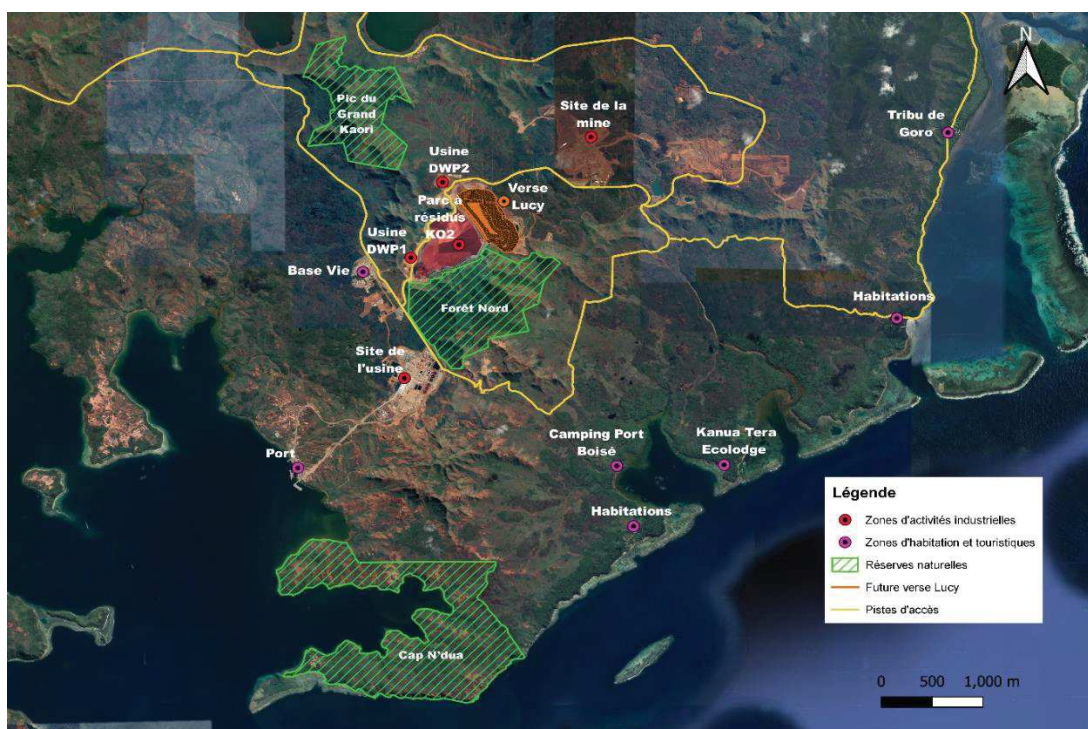


Figure 54 : Activités et voies de communication principales à proximité de la verse Lucy

3.7.3 Analyse fonctionnelle externe

L'analyse fonctionnelle externe du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy est synthétisée dans la figure suivante :



Figure 55 : Analyse fonctionnelle externe

4 POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS)

4.1 Conditions d'exploitation du parc à résidus KO2

La méthode de déposition est la suivante : la pulpe de résidus est déversée à partir d'un point de déposition judicieusement implanté pour permettre le remplissage du bassin de façon contrôlée afin de disposer du point bas au droit ou à proximité immédiate de la barge de pompage.

Les paramètres d'opération, %solide et débit notamment sont enregistrés en continu et permettent le suivi quantitatif du remplissage du parc à résidus en éditant des bilans hebdomadaires et mensuels.

Les campagnes bathymétriques bimensuelles, associées aux levés topographiques permettent d'ajuster la courbe de jaugeage du bassin pour une meilleure évaluation des volumes disponibles et des quantités déjà stockées.

Les différentes inspections quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles et spécifiques permettent d'observer les conditions d'opération. En cas d'écart vis-à-vis de la conception et des bonnes pratiques ou lors d'anomalies constatées, des plans d'actions sont engagés, attribués et enregistrés dans l'outil de suivi GEOSCOPE. Des réunions internes hebdomadaires permettent de suivre l'avancement de ces plans d'action.

L'opération des pompes de la barge est du ressort de l'unité 285 « traitement des effluents ». L'objectif étant d'avoir un volume minimum de surnageant les 3 pompes sont très largement sollicitées et un programme de maintenance préventive est déployé. Il comprend selon des fréquences préétablies, les vidanges, le contrôle des vibrations, le suivi de la température des paliers et des roulements notamment.

Le choix technique de pompes immergées à colonnes de 2,25 m de profondeur impose néanmoins de garder au minimum 3 m d'eau sous la barge pour éviter d'une part qu'elle ne s'échoue et d'autre part que les pompes n'aspirent pas trop de solides, au-delà de leurs caractéristiques techniques.

Les pompes sont contrôlées à partir de la salle de contrôle de l'usine de traitement des effluents (unité 285). Les trois pompes peuvent être utilisées individuellement ou de manière groupée (par deux ou par trois) selon les objectifs de vidange du bassin de décantation, de la capacité de traitement de l'unité 285 ainsi que par le niveau d'eau sous la barge de pompage. Les débits des trois pompes sont enregistrés en continu.

Une contrainte opérationnelle, liée à la turbidité de l'eau pompée, doit être prise en compte afin ne pas risquer d'endommager les pompes.

Aucune séquence automatique de pompage n'est mise en œuvre.

La décision du démarrage et de l'arrêt d'une ou des pompes est sous la responsabilité de l'unité 285.

L'opération du parc à résidus s'intéresse également à son impact sur le milieu extérieur et notamment sur l'efficacité des systèmes de gestion des eaux installés. Les différents systèmes sont les suivants :

- ➔ Un système de drains répartis sous la surface de la géomembrane ;
- ➔ Des fossés de dérivation sur les flancs Nord et Sud pour les ruissellements météoriques superficiels ;
- ➔ Un système de drains, aussi appelés fossés, permet de collecter les eaux d'exhaure provenant du système de drainage interne au barrage (cheminée et tapis drainant) ainsi que les eaux pluviales ruisselant sur le parement aval du barrage ;
- ➔ La collecte des écoulements de faibles profondeurs sur les flancs du parc à résidus par des drains horizontaux ;
- ➔ Le suivi de la qualité des eaux souterraines et des sources en aval du parc à résidus.

Les conditions d'exploitation sont aussi définies dans l'arrêté d'autorisation (arrêté n°1466-2008/PS du 09/10/2008). A la suite d'une contamination avérée de la nappe souterraine (présence d'un panache de sulfates notamment) cet arrêté, modifié en septembre 2017, interdit tout rejet à l'environnement des flux issus des eaux captés sous la géomembrane ainsi que pour parties celles issues des drains de pied.

En effet, depuis décembre 2017, aucun rejet à l'environnement provenant du système de drainage sous la géomembrane n'est autorisé. L'article 2.2 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté n°1466-2008/PS du 9/10/2008 (arrêté ICPE Kwé Ouest) qui autorisait ce rejet a été remplacé par l'article 11.1.5.1 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté ICPE Lucy à compter de la date de notification de cet arrêté le 13/12/2017. Les eaux sont donc envoyées vers le bassin de stockage des résidus ou vers l'UPM en fonction des besoins en eaux de procédé (maximum 400 m³/h).

Tout un dispositif de pompe automatisé est donc installé avec des moyens de redondance et de suivi en continu (suivi des débits, suivi du niveau dans le puits de relevage, suivi de la conductivité, ...).

Toutes ces différentes étapes de l'opération sont développées dans les différents chapitres ci-après.

4.2 Conditions de surveillance du parc à résidus KO2

La surveillance comprend le contrôle et le suivi des opérations, ainsi que le contrôle de l'intégrité structurale et de la sécurité de l'installation. L'ensemble des dispositions de surveillance préétablies sur le site du parc à résidus KO2 sont renseignées dans le rapport des consignes de surveillance [12] et dans le manuel d'opération, d'entretien et de surveillance du parc à résidus KO2 [10]. Les documents sont présentés en Annexe G.

4.2.1 Paramètres de surveillance du parc à résidus

Le rapport des consignes de surveillance a été pris comme référence pour les justifications légales et techniques suivantes.

4.2.2 Justification technique : Mode de défaillance potentiels

Le programme de surveillance est élaboré en se basant sur les modes de défaillances potentielles identifiés, à savoir :

➔ Instabilité et mécanismes de rupture :

- Rupture par glissement ;
- Rupture par débordement ;
- Rupture par phénomène de piping.

➔ Défaillance des structures d'étanchéité et des systèmes de gestion des eaux.

4.2.3 Justification légale : réglementation environnementale et hygiène sécurité

Certains paramètres de surveillance et de suivi sont requis par la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et par la réglementation grands barrages.

Les principaux paramètres sont listés ci-dessous :

➔ La gestion des résidus :

- Volume de résidus déposés ;
- Plan de déposition ;
- Composition chimique des résidus ;

➔ La gestion des eaux :

- Volumes d'eau entrant et sortant du parc à résidus KO2 ;
- Revanche selon le plan de déposition ;
- Qualité du surnageant ;
- Qualité des eaux à l'aval du parc à résidus ;
- Données météorologiques (précipitations, vents, etc.).

➔ Surveillance de l'ouvrage :

- Comportement de l'ouvrage via une surveillance appropriée ;
- Contrôles externes réguliers.

4.2.4 Inspections

Une surveillance des équipements et du milieu de travail des opérateurs est effectuée dans le cadre des activités du parc à résidus.

Ces inspections ont pour principaux objectifs de :

- ➔ Vérifier l'intégrité physique des éléments inspectés ;
- ➔ Vérifier que l'opération et les activités d'entretien sont effectuées conformément aux directives;
- ➔ Suivre l'évolution dans le temps des différents éléments de l'ouvrage ;
- ➔ Identifier les travaux d'entretien/maintenance à effectuer.

Lors de la réalisation des inspections, toutes les informations/observations sont renseignées directement sur les formulaires d'inspection (format papier ou sur tablette selon le type d'inspection) et, le cas échéant, marquées à la peinture sur le site. Des photographies de chacune des zones sont également prises pour archivage.

Depuis 2021, un outil de gestion des inspections, appelé Beyond Asset et développé par Sixense, est utilisé pour la planification, la réalisation et le suivi des inspections. Cet outil permet également de recenser l'ensemble des anomalies observées et gérer les plans d'actions correctives.

Le tableau suivant présente les différentes inspections réalisées, leur fréquence de réalisation respective ainsi que le ou les départements en charge d'effectuer ces inspections.

Tableau 28 : Inspections internes réalisées

Inspection	Détail des éléments inspectés	Gestion de l'inspection	Fréquence	Responsable(s)
Ronde journalière pipelines UPM	Pipeline eau de procédé Pipeline pulpe Pipeline eau brute Pipeline surnageant Pipeline résidus Spigots parc à résidus Pipeline retour puits de relevage Etat PRV Etat événements Etat des chaînes de retentions Roches/Arbres	Inspection réalisée selon la fiche d'inspection RG-0431-UPMO et archivé sur le réseau	1 fois / jour	UPM - Opérateurs
Inspection quotidienne - Parc à résidus KO2	Conditions météorologiques Col de l'Antenne - Point de déposition Flanc sud Crête du barrage Barge de pompage Puisard de collecte des drains de pied Puits de pompage aval Drain horizontal sud et exutoire Route des pipes nord Nothofagus	Inspection réalisée sur tablette via l'outil Beyond Asset et archivé sur la plateforme	3 à 4 fois / semaine	Géosciences - Technicien
Inspection hebdomadaire - Parc à résidus KO2	Conditions météorologiques Aire de stockage des résidus Col de l'Antenne - Point de déposition Drain sud et bajoyer Crête du barrage Barge de pompage Exutoire du drain horizontal nord Face aval du barrage Drain de pied 4R7 Drain de pied 4R8 Drain de pied 4R9 Puisard de collecte des drains de pied Puits de pompage aval Source WK17 Source WK20 Confluence WK20 et WK17 Drain horizontal sud et exutoire Rivière Kwe Ouest Route de la mine Route des pipes nord Nothofagus Talus amont du barrage	Inspection réalisée sur tablette via l'outil Beyond Asset et archivé sur la plateforme et sur le réseau PRNC	1 fois / semaine	Géosciences - Technicien
Inspection mensuelle - Parc à résidus KO2	Conditions météorologiques Aire de stockage des résidus Drain sud et bajoyer Crête du barrage Barge de pompage Exutoire du drain horizontal nord Face aval du barrage Drain de pied 4R7 Drain de pied 4R8 Drain de pied 4R9 Puisard de collecte des drains de pied Puits de pompage aval Source WK17 Source WK20 Confluence WK20 et WK17 Drain horizontal sud et exutoire Rivière Kwe Ouest Route de la mine Route des pipes nord Nothofagus Talus aval barrage 212 Talus aval barrage 192 Talus amont barrage	Inspection réalisée sur tablette via l'outil Beyond Asset et archivé sur la plateforme et sur le réseau PRNC	1 fois / mois	Géosciences - Ingénieur
Inspection mensuelle - Barrage KO2	Conditions météorologiques Talus aval barrage 212 Talus aval barrage 192 Crête du barrage Spillway nord Talus amont du barrage Appul sud / Coursier	Inspection réalisée sur tablette via l'outil Beyond Asset et archivé sur la plateforme et sur le réseau PRNC	1 fois / mois	Géosciences - Ingénieur
Inspection spéciale - Parc à résidus	Conditions météorologiques Aire de stockage des résidus Drain sud et bajoyer Crête du barrage Barge de pompage Exutoire du drain horizontal nord Face aval du barrage Drain de pied 4R7 Drain de pied 4R8 Drain de pied 4R9 Puisard de collecte des drains de pied Puits de pompage aval Source WK17 Source WK20 Confluence WK20 et WK17 Drain horizontal sud et exutoire Rivière Kwe Ouest Route de la mine Route des pipes nord Nothofagus	Inspection réalisée sur tablette via l'outil Beyond Asset et archivé sur la plateforme et sur le réseau PRNC	En cas de survenue d'un événement majeur	Géosciences - Ingénieur
Inspection détaillée de la géomembrane	Géomembrane dans la frange des 2 m au dessus du bassin de décantation	Levé GPS et réalisation d'une carte archivée sur le réseau PRNC	1 fois / mois	Géosciences - Technicien Projet Lucy - Topographe
Levé de la plage de résidus	Plage de résidus subaérienne Plage de résidus subaquatique Cote du toit des résidus Etendue du bassin de décantation au moment du levé	Levé topographique et bathymétrique et réalisation d'une carte archivée sur le réseau PRNC	1 fois / 2 mois	Géosciences - Technicien Projet Lucy - Topographe

Lors de la réalisation de ces inspections, les phénomènes particuliers suivants doivent être surveillés :

- ➔ L'apparition ou le déplacement de zones humides et/ou d'écoulement notable en pied de barrage, au niveau de la face aval ou dans les zones avoisinantes ;
- ➔ L'affaissement ou la déformation de la crête ou des talus du barrage et du parc à résidus ;
- ➔ L'érosion des faces amont et aval du barrage et des talus et banquettes du parc à résidus ;
- ➔ L'érosion en pied de barrage ;
- ➔ L'apparition ou le développement de fissures ;
- ➔ L'apparition de trous circulaires (sinkhole/doline) ;
- ➔ La dégradation de la géomembrane ;
- ➔ Les variations de débit et conductivité des eaux collectées par les drains de pied et le réseau de sous drainage de drainage.

La canalisation de transfert des résidus, les points de déposition, la canalisation de transfert du surnageant et les systèmes de pompage doivent également être inspectés afin de vérifier leur état respectif.

Par ailleurs, la plage de résidus doit être inspectée attentivement, et notamment :

- ➔ L'étendue, la régularité et la pente de la plage des résidus ;
- ➔ Le niveau d'eau dans le bassin de stockage.

L'évacuateur de crues doit également faire l'objet d'une surveillance accrue. Les points de vigilance suivant doivent être surveillés :

- ➔ Etat des barbacanes ;
- ➔ Etat des joints ;
- ➔ Présence de fissuration ;
- ➔ Aspect du béton ;
- ➔ Présence d'objets pouvant constituer des obstacles à l'écoulement des eaux ;
- ➔ Etat des dispositifs de confortement (filet et ancrage) ;
- ➔ Etat du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation.

Toutes les inspections, à l'exception de l'inspection spéciale, sont réalisées de manière routinière afin de détecter toute anomalie/déviations le plus rapidement possible.

L'inspection spéciale est, quant à elle, réalisée dans les cas suivants :

- ➔ Evènement naturel extrême, à savoir :

- Précipitations excessives : pluviométrie supérieure à 100mm en 24h et/ou 50mm en 2h – Alerte Météo France ;
- Vents violents > 60km/h – Alerte météo France ;
- Dépression tropicale et/ou cyclone – Alerte Météo France ;
- Séisme ressenti par le personnel sur le site et à la suite de communication par l'IRD.

➔ Dérèglement du fonctionnement des installations et/ou survenue d'un incident et/ou observation d'une anomalie.

En plus de ces inspections routinières, une vidéo-inspection des conduites principales du réseau de sous drainage du parc à résidus KO2 est organisée tous les deux ans. Cette inspection, réalisée par un sous-traitant, consiste à faire passer un robot dans chacune des quatre conduites, entre le pied aval et le pied amont du barrage. L'objectif de cette vidéo-inspection est d'évaluer la déformation et l'intégrité de chacune des conduites.

Les résultats de la vidéo-inspection donnent lieu à une analyse réalisée par un géotechnicien confirmé qui compare les différents relevés avec les relevés précédents et avec les données issues du suivi de l'instrumentation du barrage.

Par ailleurs, selon les observations effectuées, des actions correctives peuvent être mises en œuvre, notamment afin de curer les conduites d'en le but de garantir l'écoulement des eaux collectées.

4.2.5 Suivi de l'instrumentation

4.2.5.1 Réseau d'auscultation et paramètres de suivi

Afin de mesurer l'évolution du barrage au cours du temps et d'assurer son intégrité, différents paramètres de surveillances ont été définis. L'effectif de chaque type d'instrument installé et actuellement suivi sur le barrage et à l'aval est le suivant :

➔ Piézomètres à corde vibrante :

- Dans les fondations du barrage : 89 ;
- Dans le corps du barrage : 53 ;

➔ Tubes inclinométriques : 11 ;

➔ Tubes inclinométriques automatisés (SAAV) : 3

➔ Tubes extensométriques : 13 ;

➔ Tiges de tassements : 22 ;

➔ Monuments de surface : 25 ;

➔ Sonde de niveau d'eau du plan d'eau : Automatisation du système effectuée

➔ Seuils limnimétriques au niveau des drains de pieds en aval du barrage : 3 munis de débitmètres et conductimètres ;

- ➔ Stations limnimétriques :2
- ➔ Conduites des drains sous la géomembrane : 4 munies de débitmètres et conductimètres ;
- ➔ Piézomètres à l'aval : 19 répartis dans la zone aval du parc à résidus et 4 à l'extérieur.

Les piézomètres démantelés seront remplacés à termes par des piézomètres à corde vibrante dans le cadre de l'instrumentation de la verse Lucy.

Le dernier rapport d'auscultation est présenté en Annexe L.

Les paramètres suivis, les instruments de mesures dédiés, ainsi que les fréquences de contrôle sont synthétisés dans le Tableau 29 ci-dessous.

Depuis 2021, un système de télégestion de l'auscultation a été mis en place par PRNC. Il repose sur l'application GEOSCOPE développée par SIXENSE. Elle permet de gérer de manière automatique l'ensemble des données de l'auscultation. Après leur intégration, les données peuvent être traitées et analysées directement dans l'application. Des graphiques et rapports peuvent également être générés de manière automatique.

Tableau 29 : Paramètres et fréquences de surveillance des instruments installés dans le barrage (GEOs4D)

INSTRUMENT	TYPE DE DONNEES	ACQUISITION DE DONNEES	FREQUENCE DE MESURE
Piézomètres à corde vibrante	Automatisée	Entre 2006 et 2007 : Mesures manuelles des capteurs	Entre 2006 et 2007 : Fréquence journalière
		De 2008 à mai 2020 : Mesures automatisées par cinq enregistreurs automatiques de données de type CR10X et D'T85g alimentés par panneaux solaires	De 2008 à mai 2020 : Fréquence 2 fois par jour (5h00 et 17h00)
		Depuis mai 2020 : Mesures automatisées par quatre enregistreurs automatiques de données de type Campbell Scientific CR1000X et CR6, alimentés par panneaux solaires. Les quatre (4) enregistreurs font partie du système de télégestion des données d'auscultation. Les données sont collectées automatiquement puis transférées dans GEOSCOPE. Ce système permet la consultation à distance et en temps réel des données des piézomètres à corde vibrante	Depuis mai 2020 : Fréquence horaire
		2022 : Déploiement de trois nouveaux enregistreurs CR1000X pour la télégestion	
Piézomètres ouverts	Manuelle et sur automatisée certains piézomètres	D'avril 2011 à septembre 2021 : Données de niveaux d'eau des piézomètres à l'aval du barrage fournies par l'équipe environnement de PRNC. L'équipe GEOs4D effectuait le traitement des données depuis avril 2011 et réalisait, en complément des données fournies par PRNC, des lectures manuelles à fréquence mensuelle afin de recalculer les mesures automatiques.	D'avril 2011 à 2016 : Fréquence bimensuelle
			En 2017 : Fréquence trois fois par mois
			De 2018 à avril 2020 : Fréquence bimensuelle
		Depuis octobre 2021 : Avec la mise en place de la télégestion, les données sont relevées sur Beyond Asset à l'aide d'une tablette tactile puis transférées automatiquement sur GEOSCOPE où les graphiques de suivi sont générés automatiquement. Certains piézomètres sont équipés de sondes d'enregistrement automatique du niveau d'eau. Ces dernières sont déchargées manuellement par les équipes de PRNC. Avec le démarrage des travaux du projet Lucy, les piézomètres à l'aval de KO2 sont démantelés au fur et à mesure de l'avancée du chantier	Depuis mai 2021 : Fréquence mensuelle
Tubes inclinométriques	Manuelle	Depuis 2006 : Mesures inclinométriques à l'aide d'une sonde inclinométrique. Depuis octobre 2021 : Les données brutes issues des relevés sont importées dans GEOSCOPE pour visualisation et interprétation. Des graphiques de suivi sont générés automatiquement.	De 2006 à novembre 2008 : Fréquence hebdomadaire Depuis décembre 2008 : Fréquence mensuelle
Tubes inclinométriques automatisés (SAAV)	Automatisée	2022 : Déploiement de trois SAAV (système Measurand) connectés aux trois (3) nouveaux enregistreurs CR1000X, reliés à la télégestion. Intégration des données dans GEOSCOPE	A partir de 2022 : Mesures en continu
Tiges de tassements, monuments de surface	Manuelle	De 2006 à février 2009 : Données topographiques mesurées au GPS différentiel	De 2006 à février 2009 : Mesure hebdomadaire
		Depuis mars 2009 : Données topographiques mesurées à l'aide d'une station totale. La précision des mesures effectuées avec la station totale est de +/- 3 mm.	De mars 2009 à mai 2016 : Mesure hebdomadaire
		Depuis octobre 2021 : Les données sont importées dans l'outil GEOSCOPE pour visualisation et interprétation	Depuis mai 2016 : Mesure mensuelle
Tubes extensométriques	Manuelle	Depuis 2006 : Mesures extensométriques à l'aide d'une sonde SONDEX (système Slope Indicator). La lecture se fait par observation sur un ruban gradué. La précision de la lecture est centimétrique. L'utilisation des sondes à de grandes profondeurs peut engendrer une elongation du câble pouvant conduire à une réduction de la précision et de la répétabilité des mesures.	De 2006 à novembre 2008 : Fréquence hebdomadaire De décembre 2008 à 2017 : Fréquence bimensuelle
		Depuis octobre 2021 : Les données relevées sur le terrain sont transférées dans GEOSCOPE pour traitement et analyse. Les graphiques sont générés automatiquement.	Depuis 2018 : Fréquence mensuelle
Sonde de niveau d'eau (niveau du plan d'eau)	Manuelle puis automatisée	Depuis fin 2008 : Niveau du bassin est mesuré chaque semaine par le géomètre	Depuis fin 2008 : Mesure hebdomadaire
		2022 : Déploiement de l'automatisation de la mesure du niveau d'eau et intégration dans GEOSCOPE	A partir de 2022 : Mesure en continu

Sondes multi-paramètres (débits et qualité)	Manuelle et automatisée	Avant mai 2016 : Mesures automatisées et manuelles réalisées par le service environnement PRNC	Avant mai 2016 : Collecte des données mensuelle
		De mai 2016 à septembre 2021 : Mesures automatisées des données de débit et qualité des eaux relatives aux conduites collectant les drains installés sous la géomembrane, drains en pieds du barrage et aux sources. Avec GEOSCOPE, les conductivités et débits sont mesurés automatiquement et sont intégrés informatiquement dans l'application à l'aide d'un logiciel d'importation. Ces données sont suivies en temps réel et les graphiques sont générés automatiquement.	De mai 2016 à septembre 2021 : Collecte des données hebdomadaire pour les conduites et les drains de pied, mensuelle pour les sources
		Depuis septembre 2021 : Les travaux de terrassement relatifs au projet Lucy en cours de réalisation ont conduit, au retrait des équipements d'instrumentation automatisée des sources. Désormais, les deux sources font uniquement l'objet de prélèvements manuels. Poursuite de l'utilisation de GEOSCOPE.	De septembre 2021 à septembre 2022 : Collecte des données hebdomadaire pour les conduites et les drains de pied Depuis septembre 2022 : Collecte des données bi-hebdomadaire pour les conduites et les drains de pied
Analyse en laboratoire sur prélèvements	Manuelle	Prélèvements manuels pour analyse en laboratoire des eaux collectées par : <ul style="list-style-type: none"> - le bassin de décantation du parc à résidus KO2 ; - les conduites du réseau de drainage sous la géomembrane ; - les drains de pied du barrage ; - le puisard de collecte des eaux issues des drains de pied ; - les sources. 	Avant mai 2016 : Fréquence mensuelle De mai 2016 à septembre 2021 : Fréquence hebdomadaire De septembre 2021 à septembre 2022 : Fréquence hebdomadaire pour le bassin de décantation, les conduites et les drains de pied. Fréquence mensuelle pour les sources Depuis septembre 2022 : Fréquence bi-hebdomadaire pour l'ensemble des points d'échantillonnage
		De 2006 à 2015 : Relevés pluviométriques issus du pluviomètre manuel du chantier	De 2006 à 2015 : Données journalières (6h-6h)
		De décembre 2015 à mai 2021 : Relevés pluviométriques issus de la station virtuelle de Météo France installé au niveau du Col de l'Antenne (GORO RESIDUS)	De décembre 2015 à octobre 2018 : journalières D'octobre 2018 à janvier 2019 : horaire De janvier 2019 à avril 2021 : 6 minutes
Pluviomètre	Automatisée	De mai 2021 à octobre 2022 : Relevés pluviométriques issus de la station Météo France GORO ANCIENNE PEPINIERE. A noter que depuis la mise en place du système de télégestion des données, les mesures pluviométriques sont intégrées à GEOSCOPE	De mai 2021 à octobre 2022 : Données journalières (6h-6h) Depuis octobre 2022 : Données horaires
		Depuis octobre 2022 : Relevés pluviométriques issus de la station virtuelle Météo France PARC A RESIDUS.	
Pression atmosphérique	Automatisée	De 2006 à 2008 : Mesures manuelles sur baromètre à aiguille	De 2006 à 2008 : Fréquence de mesure journalière
		De 2009 à mai 2020 : Mesures à l'aide d'un baromètre digital raccordé à un enregistreur automatique de données	De 2009 à mai 2020 : Fréquence de mesure 2 fois par jour (5h00 et 17h00)
		Depuis mai 2020 : Mesures réalisées directement au niveau de chacun des quatre enregistreurs. A noter que depuis la mise en place du système de télégestion des données, les mesures barométriques sont intégrées à GEOSCOPE	Depuis mai 2020 : Fréquence de mesure horaire

La gestion des systèmes reliés à l'auscultation et l'acquisition des données a été menée du début de la phase d'exploitation jusqu'à septembre 2021 par la société GEOs4D.

Entre juillet et septembre 2021, une équipe mixte PRNC/GEOs4D a été mise en place afin de permettre un transfert des connaissances et des compétences liées à la gestion du réseau d'auscultation.

Ainsi, à compter du mois d'octobre 2021, l'acquisition des données a été internalisée. Elle est dorénavant réalisée par le département Géosciences de PRNC. Un contrôle trimestriel des données a été réalisé par GEOs4D, entre octobre 2021 et décembre 2022. A compter de 2023, ce contrôle est semestriel.

En Annexe B sont présentés les plans de l'ensemble du système d'auscultation existant au droit du parc à résidus KO2.

L'état de fonctionnement actuel des équipements d'auscultation est détaillé en partie 5.

4.2.5.2 Seuils d'alerte fixés

Dans le cadre du développement du Plan d'Action en cas d'Elément Déclencheur (TARP – « Trigger Action Response Plan »), finalisé en octobre 2020, des nouveaux seuils d'alerte ont été définis par Golder.

Le TARP a été préparé en complémentarité avec le Plan d'Actions d'Urgence (PAU) en intégrant les besoins opérationnels, de sécurité et les bonnes pratiques pour le parc à résidus KO2. Il fournit aux opérateurs du parc à résidus KO2 des directives claires sur les actions qu'ils doivent prendre lorsque les changements sur les différents aspects de l'auscultation de KO2, qu'ils mesurent ou observent, atteignent ou dépassent les seuils d'alertes applicables. Deux (2) TARPs distincts ont été préparés, concernant respectivement :

- ➔ Le barrage et la déposition des résidus dans le parc à résidus ;
- ➔ Les systèmes de drainage : réseau de drainage sous la géomembrane, drains de pied et sources.

La rédaction du TARP a conduit à la construction de plans d'actions, s'appuyant sur les seuils du PAU. Ils définissent des seuils de valeurs ou d'observation, pour un comportement normal (seuil VERT) ainsi que pour trois (3) niveaux d'urgence classés en seuils Jaune, Orange ou Rouge dans l'ordre de gravité pour les différents éléments suivis dans le cadre de l'auscultation de KO2.

Les seuils et les actions en découlant sont classés en fonction de trois rubriques : éléments relatifs à l'exploitation, éléments extérieurs et résultats de l'auscultation.

Pour la rubrique relative aux éléments d'exploitation, les seuils sont définis pour :

- ➔ Le niveau des résidus au droit du déversoir ;

- ➔ La profondeur d'eau sous la barge de pompage ;
- ➔ Le volume de surnageant dans le bassin de décantation ;
- ➔ La revanche du bassin de décantation sous le seuil du déversoir (RL 229 m) pour fournir une capacité de stockage suffisante pour la crue dimensionnante ;
- ➔ L'infiltration provenant du barrage, du réseau de drainage sous la géomembrane et de la fondation ;
- ➔ Le « piping » au niveau du barrage, du réseau de drainage sous la géomembrane et de la fondation.

Pour la rubrique relative aux éléments extérieurs, les seuils sont définis pour :

- ➔ Le cas d'un séisme ;
- ➔ La fissuration ;
- ➔ La pluviométrie.

Pour la rubrique relative aux résultats de l'auscultation, les seuils sont définis pour :

- ➔ Les niveaux piézométriques dans le barrage en conditions drainées ;
- ➔ Les niveaux piézométriques dans la fondation du barrage, en conditions non drainées ;
- ➔ Les déplacements horizontaux (inclinomètres et plots topographiques) ;
- ➔ Les tassements (extensomètres et plots topographiques) ;
- ➔ Les drains sous la géomembrane (débits, conductivité et MES) ;
- ➔ Les drains de pied (débits, conductivité et MES) ;
- ➔ Les sources (débits, conductivité et MES).

Le système d'alerte du dépassement des seuils a été automatisé avec le passage à la télégestion des données d'auscultation du barrage. Ainsi un e-mail est automatiquement envoyé à l'équipe de surveillance du barrage KO2 dès le dépassement d'un seuil.

En cas de dépassement de seuil ou de déviation par rapport à la tendance, l'évènement est identifié comme une anomalie. Un plan d'actions est alors mis en œuvre afin de réaliser des investigations complémentaires pour confirmer/infirmier l'anomalie et classifier le niveau d'urgence.

Une fois l'anomalie confirmée et selon le niveau d'urgence, des actions spécifiques sont déclenchées et un plan d'actions correctives est mis en œuvre.

Ces seuils définis par le TARP V.1 sont présentés en ANNEXE H.

4.2.6 Contrôle externe

Les différents contrôles externes, réalisés dans le cadre de la surveillance du parc à résidus KO2, sont présentés dans le Tableau 30.

Chaque observation/recommandation, relevée lors des différents contrôles externes, est analysée et classifiée selon le degré de priorité. Par la suite, un plan d’actions correctives est défini et mis en œuvre.

Tableau 30 : Contrôle externe

Contrôle	Objectif	Fréquence	Contrôle réalisé par	Dernier contrôle effectué
Mise en place d'un Ingénieur désigné externe / Engineer of Record	En charge de confirmer que le parc à résidus est conçu, construit, opéré, surveillé et fermé dans le respect de son intégrité et des réglementations, directives, codes et normes applicables.	Permanent	Expert dument habilité : bureau d'étude spécialisé ATC Williams	/
Comité Réviseur Indépendant / Independent Tailings Review Board (ITRB)	En charge de fournir une revue technique indépendante de la conception, de la construction, de l'opération, de la fermeture et de la gestion du parc à résidus. Les réviseurs indépendants sont des tiers qui ne sont pas et n'ont pas été directement impliqués dans la conception ou l'opération du parc à résidus concerné.	Annuelle (a minima)	3 experts indépendants	Dernière session de l'ITRB organisée en octobre 2022
Visite Technique Approfondie (VTA)	Inspection détaillée visant à vérifier l'état du parc à résidus. A l'instar de l'inspection mensuelle interne, tous les éléments composant le parc à résidus sont inspectés.	Annuelle	Bureau d'étude spécialisé et accrédité : Tractebel	Dernière VTA réalisée en octobre 2022
Inspection du barrage / Dam Safety Inspection	L'ingénieur désigné procède à une inspection détaillée pour revue de la construction, de l'opération et des performances du parc à résidus.	Annuelle (a minima)	Ingénieur désigné / Engineer of Record	Dernière DSI réalisée en novembre 2022
Revue de sûreté	La revue de sûreté intègre les aspects techniques, opérationnels et de gouvernance du parc à résidus et est réalisée conformément aux meilleures pratiques. Elle consiste principalement à contrôler tous les éléments composant le parc à résidus afin de vérifier leur conformité et efficacité.	Tous les 10 ans maximum	Bureau d'étude spécialisé et accrédité	Revue de sûreté effectuée en 2016 par Tractebel. Examen technique complet (ETC) réalisé en 2021 par Golder/GEOs4D

4.3 Entretien et maintenance du parc à résidus KO2

Le programme d’entretien du parc à résidus et des installations de gestion des eaux prévoit l’identification des éléments critiques, l’entretien courant, l’entretien préventif et l’entretien correctif après tout événement et/ou incident, ainsi que le suivi du fonctionnement des équipements techniques, mécaniques et électriques et des dispositifs d’instrumentation des installations.

Les équipements, la nature et la fréquence de ces entretiens sont décrits dans le manuel d’opération, d’entretien et de surveillance du parc à résidus [10].

L’ensemble des activités d’entretien effectuées sur les divers équipements/éléments du parc à résidus est présenté dans les rapports semestriels d’opération.

4.3.1 Fréquence et nature des travaux d’entretien

Le Parc à résidus et ses organes annexes font l’objet d’entretien afin d’assurer leur bon fonctionnement..

4.3.1.1 Entretien des accès

L'entretien des différents accès est organisé de la manière suivante :

- ➔ Route principale d'accès à la mine – (Accès en rouge sur la Figure 56) : Entretien réalisé par les équipes de la direction Mine ;
- ➔ Accès localisés dans la zone aval du parc à résidus KO2 – Zone de préparation aval du projet Lucy (Polygone bleu sur la Figure 56) : Entretien réalisé par les équipes de la direction projet Lucy ;
- ➔ Tous les autres accès localisés dans la zone du parc à résidus KO2 – Accès dédiés aux personnels et sous-traitants en charge de l'opération, de l'entretien et de la surveillance du parc à résidus KO2 : Entretien réalisé par le sous-traitant Eau et Environnement, sous la directive du département Géosciences.



Figure 56: Entretien des différents accès dans la zone du parc à résidus KO2

4.3.1.2 Canalisation de transfert des résidus et du surnageant

Les canalisations de transfert des résidus et du surnageant ainsi que les stations de vannes font l'objet d'inspections et d'interventions de maintenance préventive et corrective, en fonction des constatations faites pendant les inspections.

	<p align="center">ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY</p>	
---	---	---

Le contrôle et la maintenance des stations de vannes et des canalisations est sous la responsabilité de la direction Usine.

4.3.1.3 Bassin de stockage et barrage KO2

Les principales activités d'entretien du barrage KO2 et du bassin de stockage sont présentées dans le Tableau 31.

	ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY	
---	---	---

Tableau 31: Entretien du barrage KO2 et du bassin de stockage (Source : [10])

Ouvrage	Activités d'entretien	Description	Encadrement et contrôle des activités d'entretien	Responsable
Barrage	Entretien des banquettes, de la crête et des merlons de sécurité associés	Travaux de terrassement et pose de géotextile Recharge en enrochements sur les banquettes de la face aval et la crête Recharge en latérite ou résidus asséchés sur les banquettes de la face amont Agencement/reprise des merlons	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux avec liste de réserves le cas échéant	Sous-traitant Eau et Environnement, sous la directive du département Géosciences
	Entretien de la face aval recouverte par des enrochements	Purge des enrochements à risque et repositionnement des blocs		
	Entretien de la face amont recouverte de géomembrane	Réparation de la géomembrane par soudure de patch (petites zones) Réparation de la géomembrane par rajout d'une couche de géomembrane (grandes surfaces) Ajout de ballast tubes		
	Enlèvement des végétaux	Enlèvement des végétaux pouvant entraîner des dommages sur la structure		
Bassin de stockage	Entretien des banquettes	Travaux de terrassement et pose de géotextile Recharge en latérite ou résidus asséchés sur les banquettes Agencement/reprise des merlons		
	Entretien des talus internes	Travaux de terrassement et pose de géotextile		
	Entretien de la géomembrane	Réparation de la géomembrane par soudure de patch (petites zones) Réparation de la géomembrane par rajout d'une couche de géomembrane (grandes surfaces) Ajout de ballast tubes		
	Enlèvement des végétaux	Enlèvement des végétaux pouvant entraîner des dommages sur la structure		

4.3.1.4 Entretien des systèmes de gestion des eaux

Les principales activités d'entretien des systèmes de gestion des eaux du parc à résidus sont présentées dans le Tableau 32.

Le Tableau 33 présente les activités d'inspection et maintenance préventive effectuées sur la barge de pompage.

Le Tableau 34 présente les activités d'inspection et maintenance préventive effectuées sur le puits de pompage aval et le puisard de collecte des eaux des drains de pied.

Tableau 32 : Entretien des systèmes de gestion des eaux

Système de gestion des eaux	Activités d'entretien	Description	Objectif des activités d'entretien	Encadrement et contrôle des activités d'entretien	Responsable
Evacuateur de crues	Entretien des organes bétonnés de l'EVC	Travaux génie civil de reprise du béton (exemple : comblement de fissure) Travaux de reprise de joint	Maintenir l'intégrité de l'ouvrage Eviter l'infiltration d'eau sous les organes bétonnés	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités	Sous-traitant spécialisé, sous la directive du département Géosciences
	Entretien des dispositifs de confortement	Travaux de reprise des ancrages et/ou filets existants Ajout d'ancrages et/ou filets	Maintenir l'intégrité des dispositifs de confortement	A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux avec liste de réserves le cas échéant	
	Entretien garantissant la continuité de l'écoulement	Désencombrement du chemin de l'écoulement	Garantir l'écoulement de l'eau entre le parc à résidus et l'exutoire du chenal de distribution		
Drains de dérivation nord et sud	Entretien du drain de dérivation sud	Travaux de terrassement en cas de dommage observé Pose de géotextile et enrochement Travaux de protection en cas d'éboulement	Garantir l'écoulement de l'eau vers l'aval du parc à résidus Limiter l'apport d'eau dans le parc à résidus	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux avec liste de réserves le cas échéant	Sous-traitant Eau et Environnement, sous la directive du département Géosciences
	Entretien du drain de dérivation nord	Travaux de terrassement en cas de dommage observé Réparation et/ou pose de géomembrane Travaux de protection en cas d'éboulement			
Drains horizontaux souterrains nord et sud	Entretien des exutoires	Travaux de terrassement en cas de dommage observé	Eviter l'érosion du pied de barrage	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux	Sous-traitant Eau et Environnement, sous la directive du département Géosciences
Barge de pompage	Entretien des équipements de pompage et instrumentation associée - Maintenance préventive	Réalisation des inspections et routines d'entretien (se référer au tableau dédié)	Eviter les arrêts de pompage qui induirait une augmentation du volume d'eau stocké dans le parc à résidus	Encadrement et contrôle des activités via le système informatique de maintenance Ellipse	Départements Maintenance Usine et Neutralisation
	Entretien des équipements de pompage et instrumentation associée - Maintenance corrective	Réalisation des travaux de maintenance en cas de panne/casse			Département Maintenance Usine
Puits de pompage aval (exutoire du réseau de sous drainage du parc à résidus KO2)	Entretien des équipements de pompes et instrumentation associée - Maintenance préventive	Réalisation des inspections et routines d'entretien (se référer au tableau dédié)	Eviter les arrêts de pompage qui induirait un débordement des eaux dans le milieu naturel	Encadrement et contrôle des activités via le système informatique de maintenance Ellipse	Département UPM
	Entretien des équipements de pompage et instrumentation associée - Maintenance corrective	Réalisation des travaux de maintenance en cas de panne/casse			Département UPM
	Entretien des vannes manuelles	Réalisation des inspections et routines d'entretien			Département UPM
	Entretien du puits de pompage	Nettoyage du puits de pompage aval Enlèvement des végétaux	Eviter le remplissage du puits de pompage aval par des solides qui réduiraient sa capacité Eviter les dommages sur les infrastructures du fait des végétaux	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux avec liste de réserves le cas échéant	Sous-traitant spécialisé, sous la directive du département Géosciences
	Entretien des conduites principales du réseau de sous drainage (drains 1 à 4)	Flush par ouverture/fermeture des drains - Procédure "G-FPP-IN-80-purge drains puits de pompage aval"	Garantir un libre écoulement de l'eau dans chacun des drains Limiter toute accumulation de matériau dans les drains afin d'éviter leur colmatage qui pourrait, à son tour, engendrer une mise en pression sous le barrage ou un changement de conditions dans les sols de fondation (passage de conditions drainées à non drainées par apport d'eau conséquent)		Départements UPM et Géosciences
		Curage des drains par hydrocureuse			Sous-traitant spécialisé, sous la directive du département Géosciences
Drains de pied du barrage KO2	Entretien des fossés	Travaux de terrassement en cas de dommage observé Pose de géotextile et enrochement Curage et/ou désencombrement des fossés	Garantir un libre écoulement de l'eau dans chacun des fossés	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux avec liste de réserves le cas échéant	Sous-traitant Eau et Environnement, sous la directive du département Géosciences
	Entretien des seuils	Travaux génie civil de reprise du béton (exemple : comblement de fissure) Travaux de réparation sur les plaques du seuil	Garantir un bon écoulement de l'eau	Encadrement et contrôle des activités via le système informatique de maintenance Ellipse	Sous-traitant spécialisé, sous la directive du département Géosciences
		Entretien de l'instrumentation installée (sonde de niveau d'eau et conductimètre)	Garantir le suivi des données		Département UPM
Puisard de collecte des eaux convoyées par les drains de pied du barrage KO2	Entretien des équipements de pompes et instrumentation associée - Maintenance préventive	Réalisation des inspections et routines d'entretien (se référer au tableau dédié)	Eviter les arrêts de pompage qui induirait un débordement des eaux dans le milieu naturel	Encadrement et contrôle des activités via le système informatique de maintenance Ellipse	Département UPM
	Entretien des équipements de pompage et instrumentation associée - Maintenance corrective	Réalisation des travaux de maintenance en cas de panne/casse			Département UPM
	Entretien du puisard	Nettoyage du puisard de collecte Enlèvement des végétaux	Eviter le remplissage du puisard par des matériaux qui pourraient perturber l'écoulement Eviter les dommages sur les infrastructures du fait des végétaux	Avant le démarrage des travaux d'entretien : préparation d'une procédure détaillée permettant d'encadrer la réalisation des activités Pendant les travaux d'entretien : vérification du bon déroulement des activités A la fin des travaux d'entretien : réalisation d'un rapport de fin de travaux avec liste de réserves le cas échéant	Sous-traitant spécialisé, sous la directive du département Géosciences
	Entretien des fossés reliant le puisard de collecte et les containers enterrés	Travaux de terrassement en cas de dommage observé Réparation et/ou pose de géomembrane Curage et/ou désencombrement	Garantir l'écoulement de l'eau entre le puisard principal et les containers enterrés afin d'éviter un débordement d'eau non contrôlé dans la zone		Sous-traitant Eau et Environnement, sous la directive du département Géosciences

Tableau 33 : Barge de pompage-Inspection et maintenance préventive

Equipement	Entretien / Maintenance - Préventif	Fréquence	Procédure	Département responsable de l'activité	Description de l'activité
Barge de pompage : 285-BAR-001	Inspection Maintenance 1 ^{er} niveau	1 fois / mois	INS100	Maintenance Usine (secteur 285)	1. Vérifier l'état général de l'équipement (bruits anormaux, température, vibrations, fuites)
					2. Vérifier l'état du tag équipement
					3. Vérifier l'étanchéité de l'ensemble et l'usure des joints
					4. Vérifier l'intégrité du boîtier transmetteur
					5. Vérifier la présence de fuites aux raccords de tuyauterie
					6. Vérifier l'état de la mise à la terre des équipements
Pompes électriques de la barge : 285-PPP-009 285-PPP-010 285-PPP-011	Inspection Maintenance 1 ^{er} niveau	1 fois / 15 jours	PPP285	Neutralisation	1. Idem que INS100
	Inspection	1 fois / 3 mois	PPP508	Neutralisation	1. Idem que INS100
					2. Contrôle du niveau d'huile (bloc palier)
					3. Appoint d'huile (si nécessaire)
					4. Remplacement de la graisse de palier (moteur)
	Révision 5000h	1 fois / 6 mois	PPP507	Neutralisation	1. Vérifications mécaniques (hauteur de turbine – pompe)
					2. Vérification sur système de refroidissement
					3. Mesures électriques sur le moteur d'entraînement
					4. Vérification de l'intégrité des éléments électriques
					5. Vidange puis remplissage huile
285-PPP-012	Calibration Turbidimètre	1 fois / 2 mois	TUR500	Neutralisation	6. Remplacement de la graisse de palier (moteur)
					Calibration de l'instrument de mesure

Tableau 34 : Puits de pompage aval et drains de pied-Inspection et maintenance préventive

Equipement	Entretien / Maintenance - Préventif	Fréquence	Procédure	Département responsable de l'activité	Description de l'activité
285-PND-100	1M-OP-INSPECTION MAINTENANCE 1E LEVEL=F	1 fois / mois		UPM	
285-A-01598	2M-OP-CALIBRATION-TURBIDIMETRE	1 fois / 2 mois		UPM	Calibration conductivimètre selon instruction G-FPPE-C-002
285-C-01535	1M-OP-CALIBRATION-CONDUCTIVIMETRE	1 fois / mois	Work pack	UPM	Calibration conductivimètre selon instruction G-FPPE-C-002
285-C-01536	1M-OP-CALIBRATION-CONDUCTIVIMETRE	1 fois / mois		UPM	
285-C-01537	1M-OP-CALIBRATION-CONDUCTIVIMETRE	1 fois / mois		UPM	
285-C-01538	1M-OP-CALIBRATION-CONDUCTIVIMETRE	1 fois / mois		UPM	
285-C-01584	1M-OP-CALIBRATION-CONDUCTIVIMETRE	1 fois / mois		UPM	
285-C-01596	1M-OP-CALIBRATION-CONDUCTIVIMETRE	1 fois / mois		UPM	
285-ESR-003	1A-CONTROLE THERMOGRAPHIQUE SALLE ESR	1 fois / an		UPM	Description dans les work order
285-FI-01530	3M-AE INSPECTION DEBIMETRE	1 fois / 3 mois		UPM	Description dans les work order
285-FI-01531	x				
285-FI-01532	x				
285-FI-01533	x				
285-FI-01534	x				
285-FI-01521	x				
285-PPM-012	x				
285-F-01539	3M-AE INSPECTION DEBIMETRE	1 fois / 3 mois	Work pack	UPM	Description dans les work order
285-PND-001	1M-OP-INSPECTION MAINTENANCE 1ER NIVEAU	1 fois / mois	Work pack	UPM	Description dans les work order
285-PPM-011	15J-OP-INSPECTION MAINTENANCE 1ER NIVEAU	1 fois / 15 jours	Work pack	UPM	Description dans les work order
285-PPP-021	1M-OP-INSPECTION MAINTENANCE 1 NIVEAU= F	1 fois / mois		UPM	Description dans les work order
285-PPM-013	x				
285-TUP-100	x				
285-TUP-120	x				
285-TUP-140	x				
285-PPP-301	1M-INSPECTION HEBDOMADAIRE POMPE DIESEL	1 fois / mois		UPM	
285-A-1599	x				
285-T-01599	x				
285-LI-01586	x				
285-LI-01587	x				
285-LI-01588	x				

4.3.1.5 Entretien des instruments utilisés dans le cadre de l'auscultation du barrage

Le Tableau 35 présente les activités d'entretiens réalisées sur les instruments utilisés dans le cadre de la surveillance du barrage et du parc à résidus KO2. L'entretien des dispositifs d'auscultation est sous la responsabilité du département Géosciences, à l'exception de l'entretien des instruments installés au niveau des stations limnimétriques.

Tableau 35 : Entretien des dispositifs d'auscultation

Instrument	Type d'entretien	Fréquence	Département responsable de l'activité
Instruments - CPI, plots topographiques, tiges de tassement, sondes automatiques des piézomètres (trolls), sonde manuelle de niveau d'eau	Remplacement des instruments en cas de défaillance	En cas de défaillance	Département Géosciences
Sondes inclinométriques	Calibration des sondes	1 fois / an	Département Géosciences
Sondes extensométriques	Remplacement des sondes en cas de défaillance	En cas de défaillance	Département Géosciences
Instruments pour levés topographiques	Calibration des équipements	1 fois / an	Département Topo du projet Lucy
Préleveurs automatiques ISCO et sondes diverses pour le suivi limnimétrique	Calibration des équipements	En cas de défaillance	Département HSE

4.4 Condition de surveillance de la verse Lucy

4.4.1 Manuel d'Opération, d'Entretien et de Surveillance de la verse Lucy

Un manuel d'opération, d'entretien et de surveillance est en cours de rédaction.

Ce manuel vise à optimiser continuellement la performance de la verse et de gérer les risques associés. Cette approche permet également de réduire au minimum les dommages potentiels attribuables à la gestion des résidus asséchés au sein de la verse Lucy.

4.4.2 Réseau d'auscultation

Le réseau d'auscultation permettant la surveillance et le suivi de l'état de la verse Lucy et de ses ouvrages associés est constitué par les instruments suivants :

- Instruments d'auscultation de la verse Lucy et de sa fondation ;
- Instruments d'auscultation des bassins des eaux de contact ;
- Instruments de suivi de la qualité et du débit des eaux de sous écoulements.

La vue en plan et les coupes du dispositif d'auscultation sont présentées en Annexe I.

Au fur et à mesure de la remontée de la verse, les inclinomètres et les extensomètres existants dans le corps et la fondation du barrage KO2 seront soit maintenus soit mis hors service selon leur état de fonctionnement. Les piézomètres à corde vibrante existants seront maintenus en déplaçant les dataloggers correspondants vers la crête du barrage KO2.

De plus, les piézomètres démantelés seront remplacés à termes par des piézomètres à corde vibrante dans le cadre de l'instrumentation de la verse Lucy.

Les paramètres de suivis du réseau d'auscultation avec le type et le nombre d'instruments de mesure installés, ainsi que les zones concernées par la surveillance sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 36 : Présentation du réseau d'auscultation

Paramètre suivi	Instrument	Type de donnée	Zone surveillée	Nombre d'instrument par zone	Remarque
Niveau piézométrique	Piézomètres à corde vibrante	Automatisée	- Corps de la verse - Fondation de la verse	51 88	Mesure des pressions interstitielles générées lors de la rehausse de la verse
	Piézomètres à tube ouvert	Manuelle	Bassins des eaux de contact	6	Suivi de la nappe au niveau des bassins des eaux de contact
			À différents niveaux de la verse	9	Suivi du niveau de la nappe dans la verse. Ces piézomètres seront arrêtés à 2 m au-dessus de la barrière étanche
Déplacements	Tubes inclinométriques	Manuelle	À différents niveaux de la verse	16	Suivi des éventuels déplacements dans la verse. Ces inclinomètres doivent être ancrés jusqu'à 5 m dans le substratum rocheux
	Plots topographiques (PT)	Manuelle	Au niveau des talus libres et à la crête de la verse	31	Mesure des déplacements
Tassements	Repères de tassement automatisés (SG)	Automatisée	Au niveau des conduites d'extension du réseau de sous drainage existant et des drains de pied KO2	6	Suivi du tassement des conduites d'extension du réseau de sous drainage existant et des drains de pied KO2 ;
Débit Mesure de la hauteur d'eau Conductivité Température Chimie en prélèvement manuel	—	Manuelle et automatisée	- Exutoire WK17/20 - Exutoire du creek KO2 - Trois puisards de collecte des lixiviats de la verse - Puits de pompage aval - Regards des sous écoulements des trois bassins des eaux de contact - Exutoire 206S - Exutoire 220N - Exutoire du canal de drainage de la carrière Audemard	—	Suivi de la qualité et du débit des eaux de sous écoulement et des lixiviats

4.4.3 TARP

Le Plan d'Action en cas d'Élément Déclencheur (TARP) est préparé pour assurer un suivi permanent de la sécurité de la verse et des infrastructures associées et pour répondre aux exigences des standards internationaux en matière de gestion des résidus miniers. Ainsi, le TARP fournit des indications claires sur les actions qui doivent être entreprises lorsque les différents niveaux seuils sont atteints.

Ce TARP permet d'assurer la surveillance de la stabilité de la verse Lucy et des bassins des eaux de contact durant les phases d'exploitation, de post-exploitation et de fermeture.

Les éléments déclencheurs et les seuils d'alerte définis par le TARP relatif à la verse sont représentés en Annexe J.

4.5 Gestion des situations d'urgence

La gestion des situations d'urgence, en lien avec le parc à résidus KO2 et la verse, est encadrée par différents documents :

- Le Plan d'Action en cas d'Élément Déclencheur ou Trigger Action Response Plan (TARP) qui synthétise les différents seuils d'alerte de suivi du parc à résidus KO2 et de la verse ainsi que les actions à mettre en œuvre ;
- Le plan d'action d'urgence (PAU) qui permet d'identifier et classer les situations en fonction du niveau d'alerte ;
- Le plan d'opération interne (POI) qui permet d'encadrer l'intervention des équipes de mesures d'urgence ;
- Le plan particulier d'intervention (PPI) qui permet d'encadrer l'intervention avec le support des pouvoirs publics.

Après avoir identifié un incident, celui-ci est classé selon 3 niveaux d'alerte à savoir :

- Niveau 1 : Vigilance renforcée ;
- Niveau 2 : Préoccupations sérieuses ;
- Niveau 3 : Péril imminent.

L'organisation des actions opérationnelles et du déploiement des moyens de secours est basée sur le niveau d'alerte identifié :

- Niveau 1 : Mise en œuvre des actions correctives au niveau opérationnel et surveillance renforcée afin de suivre l'évolution ;
- Niveau 2 : Déclenchement du POI ;
- Niveau 3 : Déclenchement du PPI.

4.5.1 Le Plan d'Action en cas d'Élément Déclencheur ou Trigger Action Response Plan (TARP)

Le TARP fixe les différents seuils de suivi du parc à résidus KO2 et de la verse. Ces seuils de suivi concernent à la fois les paramètres d'exploitation, les phénomènes extérieurs et les paramètres d'auscultation.

Quatre seuils sont définis pour chacun des paramètres suivis :

- Etat normal (vert) ;
- Seuil de Niveau 1 (jaune) ;
- Seuil de Niveau 2 (orange) ;
- Seuil de Niveau 3 (rouge).

En cas de dépassement des différents seuils, alors des actions spécifiques doivent être mises en œuvre. Ces actions concernent principalement :

- Le renforcement de la surveillance pour suivi de l'évolution de l'anomalie ;
- La mise en place des flux de communication avec les différentes parties prenantes ;

- La réalisation des actions générales ayant préalablement été identifiées comme étant bénéfiques en tout type de situation ;
- Le déploiement des équipes d'urgence selon le plan d'action d'urgence.

Les seuils d'alarme ont été automatisés via l'application de télégestion de l'auscultation du barrage. Ainsi, lorsqu'un seuil est dépassé, l'équipe de surveillance du barrage KO2 est automatiquement alertée par e-mail.

4.5.2 Le plan d'action d'urgence

Le plan d'action d'urgence [9] est un document spécifique, basé sur le TARP et les résultats de l'étude de dangers, qui permet d'aider l'équipe en charge de gérer un incident sur le parc à résidus KO2 et /ou la verse Lucy.

Ce document permet d'identifier et de classifier les situations pouvant engendrer une perte d'intégrité du barrage et/ou de la verse ainsi que de spécifier les actions à suivre.

Il permet d'identifier la réponse opérationnelle à mettre en œuvre en fonction du niveau d'alerte de l'incident avec l'objectif premier de minimiser la perte de vie humaine.

Selon le plan d'action d'urgence, 4 étapes distinctes doivent être suivies en cas d'évènement inhabituel détecté. Ces étapes sont :

- ➔ Etape 1 : détection de l'incident, évaluation et classification du niveau d'alerte (niveau 1, niveau 2 ou niveau 3) ;
- ➔ Etape 2 : réponse opérationnelle, selon le niveau d'alerte identifié, avec notification de l'urgence et communication ;
- ➔ Etape 3 : mise en œuvre des actions d'urgence, selon le niveau d'alerte identifié ;
- ➔ Etape 4 : clôture de l'incident et de la situation d'urgence puis suivi post-incident.

Tout incident, accident ou presque-accident concernant les personnes et/ou l'environnement doit être déclaré ou notifié afin de déterminer et d'analyser les défaillances rencontrées.

Au sein de l'organisation actuelle, le responsable Géosciences, associé à l'équipe opérationnelle du parc à résidus et au bureau d'étude GEOs4D sont responsables d'identifier, d'évaluer et de classifier tout évènement anormal. L'engineer of record est également associé à ce processus. Le processus de surveillance est décrit dans le paragraphe 4.2.

Lorsqu'un évènement anormal apparaît et en fonction de sa gravité, un plan d'action d'urgence peut être déployé avec les trois niveaux de criticité suivant :

Tableau 37: Définition des niveaux d'urgence [9].

Niveau d'urgence	Définition	Critères de déclenchement
Niveau 1	Vigilance renforcée	<ul style="list-style-type: none"> - En cas de constatations d'une situation anormale sur la tenue de l'ouvrage ; - En cas de résultats anormaux fournis par le système d'auscultation du barrage ; - En cas de phénomène naturel pouvant être dangereux pour la sécurité de l'ouvrage (crue importante engendrant une augmentation du volume d'eau stocké, cyclone et séisme)."
Niveau 2	Préoccupation sérieuse	<ul style="list-style-type: none"> - "En cas d'aggravation de la situation détectée en niveau 1, malgré les efforts de l'exploitant pour améliorer le comportement de l'ouvrage ; - En cas de montée non contrôlée du niveau d'eau dans le parc à résidus, malgré les moyens de pompage en place."
Niveau 3	Péril imminent	<ul style="list-style-type: none"> - "En cas de faits anormaux pouvant compromettre la tenue du barrage à très court terme ; - Dans le cas où l'exploitant estime ne plus avoir le contrôle sur l'ouvrage ; - En cas de rupture partielle ou totale constatée."

En tant qu'exploitant du barrage, PRNC dispose du Plan Opération Interne (POI) qui prévoit, en cas de scénario majeur, l'activation d'une Equipe de Gestion d'Incident (EGI) qui est alors rassemblée au sein d'un PC Exploitant (Poste de Commandement exploitant). L'activation du POI est réalisée par l'exploitant lui-même dès que le niveau 2 d'une situation d'urgence est atteint.

Les niveaux d'urgence et le dispositif opérationnel associé sont rappelés dans le Tableau 38 suivant.

Tableau 38: Niveau d'urgence et dispositif opérationnel mis en place [9]

Niveau d'urgence	Définition	Gestion de l'évènement	Dispositif opérationnel
Niveau 1	Vigilance renforcée	Situation maîtrisée ou maîtrisable par l'exploitant	Procédure opératoire interne

Niveau d'urgence	Définition	Gestion de l'évènement	Dispositif opérationnel
Niveau 2	Préoccupation sérieuse	Aggravation de la situation	Plan d'opération interne
Niveau 3	Péril imminent	Perte de contrôle de l'ouvrage	Plan ORSEC aménagement Hydraulique / PPI

Une fois que le niveau d'urgence a été déterminé, les notifications sont effectuées selon le logigramme de notification en Figure 57 suivante.

Organigramme de notification

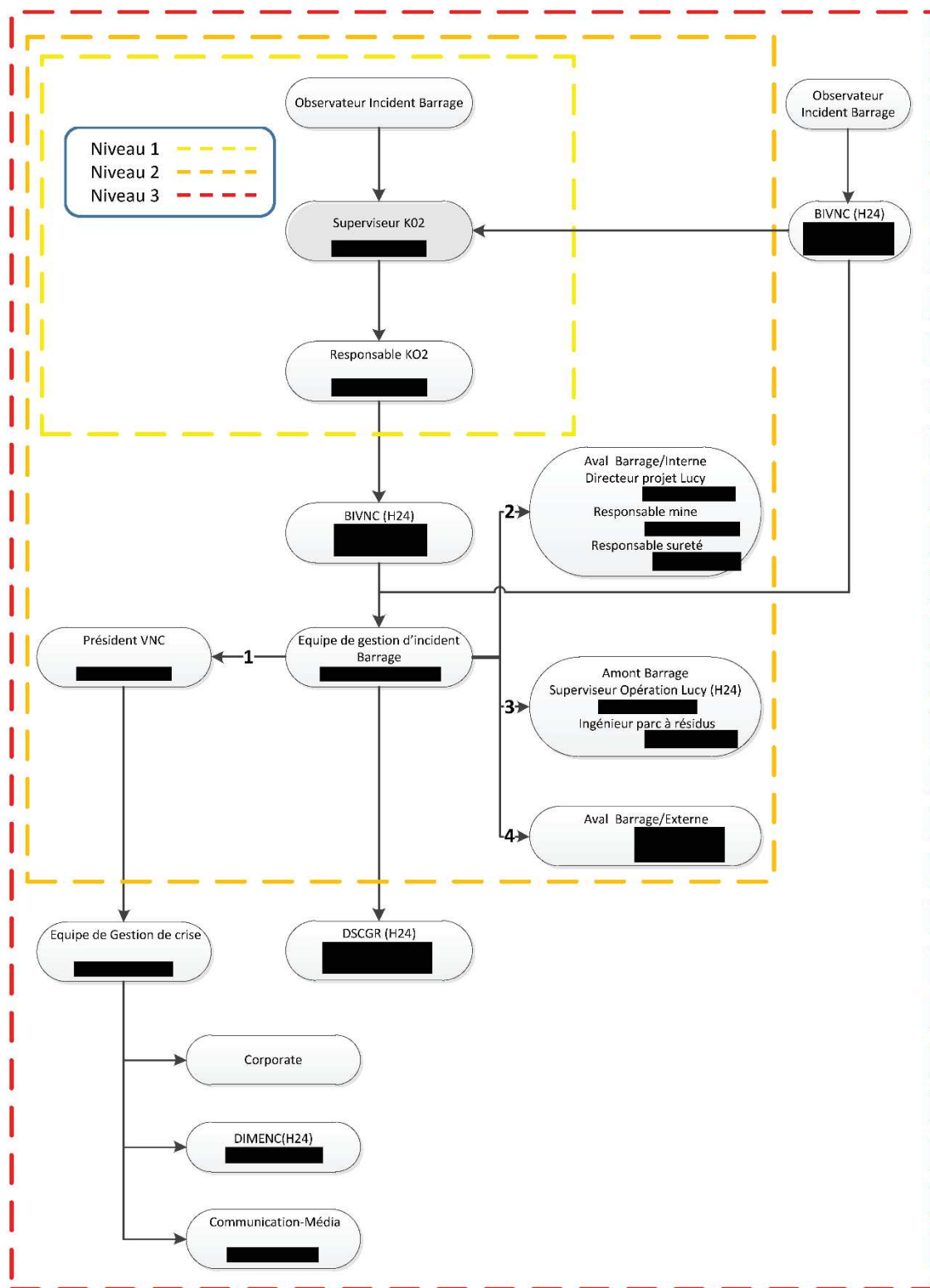


Figure 57: Organigramme de notification en cas d'accident (transmis par VALE le 05/11/2019)

4.5.3 Le plan d'opération interne (POI)

Ce plan définit les moyens et les méthodes opérationnelles pour réagir face à un accident majeur, d'assurer la protection des personnes et des biens et de lutter contre les effets sur l'environnement. Il comporte notamment une procédure intitulée « Déclenchement et Gestion de l'alerte » (document PRO-0300-MU). Cette procédure décrit la marche à suivre pour le déclenchement de l'alerte selon le niveau de gravité. Ce document contient également un annuaire téléphonique des principales ressources utiles en cas d'incident. Le déclenchement de l'alerte est amorcé en appelant le 447 447 ou le 05 00 77 (Numéro vert) ou le canal 3 des radios individuelles de communication.

Le POI et la procédure de déclenchement de gestion de l'alerte sont complétés par des procédures spécifiques pour certains secteurs. À cet effet, une « Fiche réflexes » Zone Kwé (document EPS-6111-MU) est spécifiquement dédiée aux principaux scénarios susceptibles de se produire au niveau du parc à résidus KO2.

Le plan, procédures et fiches réflexes sont maintenus à jour par la direction HSROE de PRNC et concernent principalement les interventions de la brigade d'intervention de PRNC et les équipes de gestion d'incident et de gestion de crise.

4.5.4 Le plan particulier d'intervention (PPI)

Le PPI est rédigé par les pouvoirs publics sur la base du POI (Plan d'Opération Interne) établi par PRNC. Il a pour objectif de protéger les populations, les biens et l'environnement, pour faire face aux risques particuliers liés à l'existence d'une ou de plusieurs installations industrielles.

4.5.5 Identification et évaluation des risques d'accidents majeurs

Les principaux rapports qui encadrent l'identification et l'évaluation des risques d'accidents majeurs sont les **Etudes De Dangers (EDD)** du barrage :

- En 2007, une première EDD a été réalisée lors de la demande d'autorisation ICPE d'exploitation du parc à résidus ;
- En 2014, une première révision de l'EDD du barrage a été effectuée par Artelia concernant le parc à résidus de la Kwé Ouest 2.
- À la suite des commentaires de la DIMENC et de Tractebel, lors de la revue de sûreté du barrage, sur l'EDD de 2013, Golder a été mandaté pour la révision de l'EDD du barrage en 2020.

Dans le cadre du projet Lucy, cette étude de dangers a été actualisée par Mecater (2022/2023) dans le but de couvrir à la fois le parc à résidus KO2 et la verse Lucy.

Les parties 7, 8 et 9 du présent rapport analysent les risques d'accidents majeurs en prenant en compte la conception du barrage et de la verse Lucy et le retour d'expérience des accidents survenus sur des retenus de résidus humides similaires.

Les scénarios d'accidents retenus ainsi définis permettent d'adapter les procédures écrites de gestion des situations d'urgence (PPI, POI, Plan d'actions d'urgence notamment) et le contenu des formations du personnel intervenant sur site.

4.6 Contrôle du système de gestion de la sécurité

4.6.1 Gestion du retour d'expérience (« REX »)

Plusieurs outils support permettent de formaliser le retour d'expérience en lien avec le parc à résidus KO2 :

- ➔ Le logiciel « SAP IM » est un outil informatique utilisé sur le site et permettant de recenser les accidents et incidents survenus sur l'exploitation. Il permet également de recenser les enquêtes menées en rapport avec ces accidents et incidents ainsi que les plans d'action mise en place ;
- ➔ L'outil « action tracker » permettant de suivre les plans d'actions spécifiques.

Chaque incident fait l'objet d'une analyse pour comprendre le phénomène, d'un plan d'action pour corriger la situation, de la mise en place d'actions correctives ou d'un programme de suivi particulier selon le cas, et d'un rapport d'incident, transmis au besoin aux autorités de tutelle [10].

4.6.2 Formations du personnel

➔ Formation du personnel intervenant sur le site KO2

Le personnel habilité à être présent sur la zone du parc à résidus doit disposer des formations suivantes :

- Accueil HS (PRO-0501-HS) : présentation vidéo ;
- HS Parties communes (PRO-0502-HS) : présentation générale des exigences relatives aux activités critiques et AST (Analyse Sécuritaire des Tâches) ;
- HS site (PRO-0503-HS) : permet d'intervenir sur les zones de production de l'usine, du port et de l'UPM-CIM ;
- HS mine/Kwé (PRO-0504-HS) : permet d'intervenir sur les zones de la mine et du parc à résidus KO2.

➔ Formation des membres de l'EGI (Equipe de Gestion de l'Incident)

Chaque membre identifié de l'équipe de gestion d'incident barrage reçoit une formation au fonctionnement d'un Poste de Commandement Exploitant (PCex). Cette formation vise à décrire

l'organisation générale du PCex, les rôles et responsabilités de chaque intervenant et est intégrée au catalogue de formation de PRNC.

Le plan de formation est divisé en quatre parties, soit :

- 1^{er} module : Formation P.O.I. (Plan d'Opération Interne) d'une durée de 1h30 ;
- 2^{ème} module : Formation théorique PC / Exploitant d'une durée de 3h00 ;
- 3^{ème} module : Méthodologie - Exercice sur table d'une durée de 3h00 ;
- 4^{ème} module : Exercice pratique impliquant les 3 niveaux d'interventions, le sujet étant issu d'un scénario majorant. Cet exercice dure environ 3h00.

Cette formation vient en appui des Fiches Action mises à disposition des membres de l'EGI. Son recyclage est annuel.

➔ Exercices d'urgence

Des exercices d'urgence sont définis et organisés de la manière suivante :

- Exercices POI - Interne à PRNC : Un exercice d'urgence est organisé suivant les fiches réflexes définies sur les scénarios majeurs de la zone concernée. Cet exercice inclut la mobilisation de l'EGI au sein du Poste de Commandement exploitant. Sa fréquence est annuelle.
- Exercices POI - Complet : Cet exercice reprend un scénario similaire aux exercices POI interne mais la mobilisation des services de secours du Gouvernement, à savoir du plan ORSEC, est déclenchée au travers du Plan Particulier d'Intervention (PPI). Cet exercice est renouvelé au moins 1 fois tous les 3 ans.

4.6.3 Audits

Un audit interne réalisé par PRNC à l'échelle globale a eu lieu en 2017 suite à l'accident de Bento Rodrigues au Brésil fin 2015 et a permis la mise en place de plusieurs plans d'action sur l'ensemble de leurs opérations.

Des audits internes ponctuels ont également lieu.

4.6.4 Visites externes

La dernière visite de la DIMENC a eu lieu le 16 mars 2023. Ces visites sont effectuées annuellement.

Une visite du site lors du Tailings Review Board est également effectuée annuellement.

Les 6 dernières visites techniques approfondies sont les suivantes :

➔ Visite technique approfondie de 2022 réalisée en Décembre 2022 [72];

	<p align="center">ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY</p>	
---	---	---

- ➔ Visite technique approfondie de 2021 réalisée en Décembre 2021 [66];
- ➔ Visite technique approfondie de 2020 (réalisée en mars 2021) ;
- ➔ Visite technique approfondie de 2019 [42] ;
- ➔ Visite technique approfondie de 2018 [43] ;
- ➔ Visite technique approfondie de 2017 [44].

5 DIAGNOSTIC EXHAUSTIF DE L'ETAT ET BILAN DE CONCEPTION, DE COMPORTEMENT, ET D'ETAT DE L'OUVRAGE

5.1 Diagnostic exhaustif et bilan de conception, de comportement et d'état du parc à résidus KO2

5.1.1 Diagnostic structurel de l'état actuel de l'ouvrage

Dans le cadre de la mise à jour de l'étude de dangers du parc à résidus KO2, un Examen Technique Complet du parc à résidus KO2 a été réalisé en novembre 2021 par l'équipe Golder et GEOs4D [65] (CF. Annexe K).

5.1.1.1 Descriptif de la méthodologie du diagnostic

5.1.1.1.1 Calendrier des opérations

Compte tenu de la situation sanitaire et des restrictions d'accès en Nouvelle Calédonie, la visite a été réalisée par Golder en visio-conférence avec le support sur site de la société GEOs4D.

La visite des installations a été organisée sur 3 demi-journées les 17, 18 et 24 novembre 2021 sur les zones accessibles à pied, en voiture ou en bateau.

5.1.1.1.2 Moyens mis en œuvre

La préparation de la visite intégrant le planning de la visite, le plan actualisé des installations et la liste des éléments à inspecter ont été organisés préalablement par Golder.

Les documents nécessaires à l'ETC ont été mis à disposition de Golder.

Toutes les vérifications faites lors de la visite ont concerné l'état et le fonctionnement des éléments visibles composant le parc à résidus KO2.

Le diagnostic de l'état des éléments non-accessibles sur site et en visio-conférence (secteurs noyés, drains) a été réalisé sur la base des documents mis à disposition de Golder, notamment :

- Levés bathymétriques de la topographie des résidus et de la géomembrane (28 août 2021) ;
- Inspections vidéo des 4 conduites du système de drainage réalisées par la société IRC (28 mai 2021) ;
- D'autres documents relatifs aux opérations, entretiens et surveillances de l'ouvrage, entre autres :
 - Extraits du registre du barrage couvrant les dates du 23/12/2013 au 16/11/2021 ;
 - Rapport d'opération du parc à résidus KO2 du 1^{er} semestre 2021, PRNC, 2021 ;
 - Manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance du parc à résidus KO2 (2017).

5.1.1.1.3 Conditions de l'ouvrage

Les conditions de remplissage du bassin de stockage KO2 au moment de l'examen étaient les suivantes :

- Niveau d'eau : 215,25 NGNC ;
- Niveau des résidus solides sous la barge (mesure du 24/11/2021) : 212 m NGNC ;
- Volume stocké : environ 3 270 000 m³ ;
- Niveau de la géomembrane : 232 NGNC sauf au droit d'une section de 170 m de largeur au sud-ouest du bassin de stockage où des travaux étaient en cours pour étanchéifier de 226 à 232 m NGNC (zone W06/W07). La fin des travaux d'étanchéité jusqu'à la cote 232 m NGNC a été réalisée en 2022/2023.

5.1.1.1.4 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques lors des 3 demi-journées du 17, 18 et 24/11/2021 sur le site étaient les suivantes :

- Mercredi 17/11 : le ciel était nuageux avec vent important. La température était d'environ 26°C. les dernières pluies dataient d'environ 2 semaines ;
- Jeudi 18/11 : le ciel était nuageux la température était d'environ 25°C. De légères averses sont tombées entre la visite du 17 et celle du 18 novembre ;
- Mercredi 24/11 : le ciel était nuageux. La dernière pluie datait de vendredi 19/11 (45 mm).

5.1.1.1.5 Evènements naturels et incidents depuis le dernier Examen Technique Complet (ETC)

- Incendie de la salle électrique : entre le 10 et le 14 mars 2018, suite à l'incendie de la salle électrique et à la panne de la motopompe diesel chargée d'assurer les pompages du puits de pompage aval, il y a eu débordement et rejet à l'environnement via le puits de pompage aval du barrage.

Compte tenu de l'interdiction de rejet à l'environnement depuis décembre 2017, cet incident constitue une non-conformité. Cet incident a fait l'objet d'un rapport d'incident transmis à la DIMENC ;

- Fortes pluies (29/02/2020) : un évènement pluvieux de forte intensité s'est déroulé entre le 26 et le 29 février 2020. Après quelques précipitations entre le 26 et le 28 février (54 mm mesuré à la station « Résidus » en 3 jours), l'épisode orageux a véritablement débuté le 29 février à 2h du matin. L'intensité des pluies a rapidement augmenté à partir de 9h (intensité de l'ordre de 31 mm/h entre 9h et 10h) pour atteindre un pic vers 12h (intensité de 110 mm/h entre 11h30 et 12h30). Les pluies ont alors progressivement diminué et cessé vers 19h. D'un point de vue statistique, les lames d'eau cumulées le plus fortes sont observées

pour une durée de précipitation comprise entre 1h et 6h (notamment 386 mm mesuré à la station « résidus » en 6h) :

- Pour les durées de 2h à 6h, la période de retour est supérieure à 100 ans.
- Le cumul en 24h est moins exceptionnel mais il reste fort avec 480 mm, et correspond à une période de retour comprise entre 20 et 50 ans.

L'évènement a causé une érosion importante des talus naturels autour du bassin de stockage KO2, avec des glissements de terrain et phénomènes d'embâcle au niveau du drain de dérivation sud, et des arrachements multiples de géomembrane au droit du drain de dérivation nord. Il a également causé une érosion importante, au niveau de l'exutoire du drain horizontal sud ainsi qu'au droit de la zone de travaux W06-W07.

L'évènement a fait l'objet de deux rondes spécifiques les 02/03/2020 et 03/03/2020 suivie d'un mémorandum définissant le plan d'actions à suivre par PRNC.

Des travaux de soutènement et parement passif des talus naturels proches du drain de dérivation sud ont été effectués et des travaux de restauration ont été entrepris au droit des zones fortement ravinées du site.

- Séisme de magnitude 6 (08/01/2021) : le vendredi 8 janvier 2021, un séisme d'une magnitude de 6 sur l'échelle de Richter a été enregistré à environ 300 kilomètres au nord-est du site. Une inspection spéciale a été réalisée par un intervenant PRNC le 08 janvier 2021 et aucun dégât n'a été constaté sur l'ouvrage et les versants naturels. L'analyse du suivi des piézomètres à corde vibrante ne fait apparaître aucune anomalie due à ce séisme que ce soit dans le corps du barrage que dans ses fondations.
- Fortes précipitations et séisme de magnitude 7,6 (2 au 11 février 2021) : le déroulement des évènements a été le suivant :
 - 2 février 2021 : la dépression tropicale Lucas a traversé le site engendrant de fortes précipitations et des vents violents. Les précipitations ont été de 300 mm de pluie sur les 2 et 3 février 2021 avec des vents de l'ordre de 100 km/h, avec des rafales à 140 km/h. A noter que ces précipitations ont fait suite à un mois de janvier largement excédentaire avec 544 mm de pluie de 380 mm en moyenne.
 - 11 février 2021 : un séisme de magnitude 7,6 s'est produit dans la nuit du 10 au 11 février dont l'épicentre est situé à plusieurs centaines de km à l'Est du site.

Deux inspections spéciales ont donc été effectuées par PRNC : le 4 février juste après l'épisode Lucas, et le 11 février après le séisme. Conformément aux consignes de surveillance, une deuxième inspection spéciale séisme a été effectuée dans les deux semaines suivant le séisme. Les résultats de ces inspections ont fait l'objet d'un mémorandum faisant les résumés des évènements et des impacts constatés.

Le parc à résidus et son barrage n'ont subi aucun impact significatif. Aucune géomembrane déchirée, aucun fossé obstrué, aucun éboulement constaté et aucun débordement non conforme ont été observés. Toutes les installations de pompage sont restées sous le contrôle des équipes opérations.

A noter également que l'analyse du suivi en continu de l'auscultation du barrage (notamment des piézomètres à cordes vibrante) ne fait apparaître aucune réaction au séisme que ce soit dans le corps du barrage et dans ses fondations.

5.1.1.1.6 Points inspectés

L'ensemble des éléments de l'ouvrage inspectés sont les suivants :

- Banquette 220 (bassin de stockage et parement amont du barrage) ;
- Talus 206/220 et 220/232 (bassin de stockage et parement amont du barrage) ;
- Lignes de déposition
- Evacuateur de crues
- Partie aval du barrage (puits de pompage, fossés de pied, banquettes et parement aval)
- Route de crête du barrage ;
- Drain de dérivation sud et exutoire ;
- Col de l'antenne ;
- Drain de dérivation sud ;
- Drain de dérivation nord ;
- Bassin Nothofagus ;
- Ex-cellules d'essai (démantelées afin de construire les épaisseurs du projet Lucy-travaux en cours) ;
- Barge de pompage.

Ces éléments sont localisés sur le plan suivant :

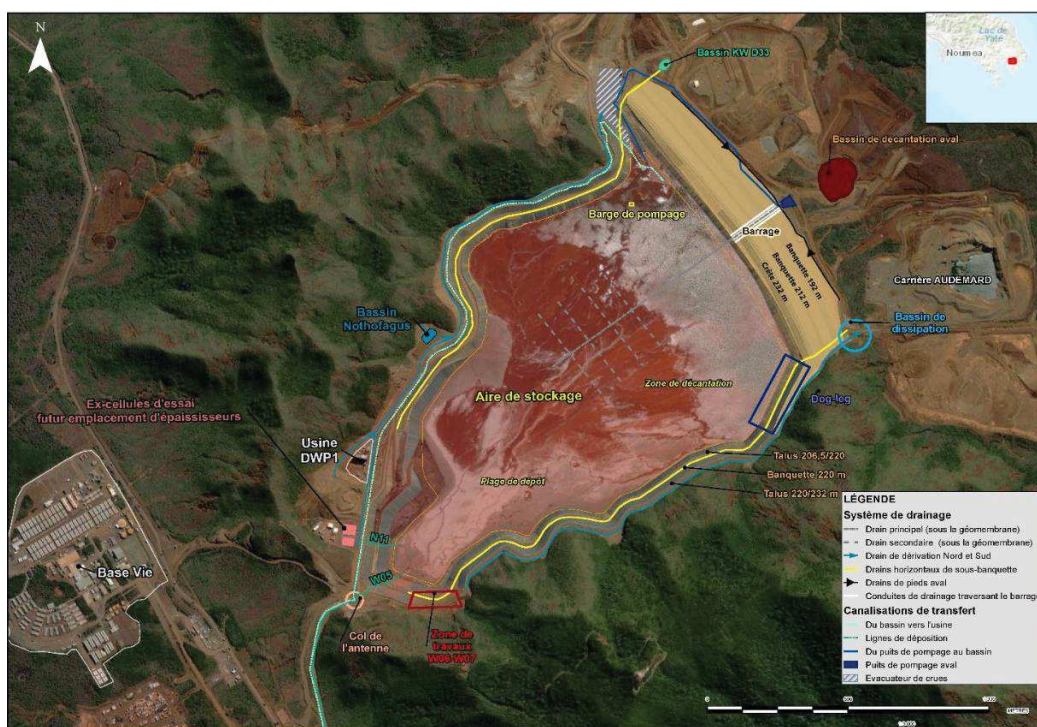


Figure 58 : localisation des éléments inspectés

5.1.1.2 Conclusion de l'Examen Technique Complet

L'ouvrage est en exploitation et était encore en construction lors de l'ETC. Les ouvrages principaux suivants n'étaient pas encore achevés : évacuateur de crues et son chenal, talus 220/232 de la zone W06-W07 au sud-ouest du bassin de stockage (talutage et étanchéité).

Dans l'ensemble, les ouvrages définitifs sont bien contrôlés et dans un état satisfaisant.

Les recommandations formulées à priorité haute (à réaliser dans les 3 à 6 mois) sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 39 : Recommandation d'actions à haute priorité : à réaliser dans les 3 à 6 mois

Ouvrage	Recommandations
Bassin de stockage	Purge des cailloux en pieds de talus 206,5/220 au nord de l'aire de stockage
	Réparation des ravines de la banquette 220 et augmentation de la fréquence de ces réparations et purge progressive des blocs de cuirasse de la latérite
	Utilisation de latérite plutôt que des résidus pour lestage de l'ancrage de la géomembrane en phase de travaux, pour les zones non étanchées et en amont de zones non étanchées
	Réparation de la géomembrane déchirée sur la banquette 220 au niveau de la zone de travaux W06-W07

Ouvrage	Recommandations
Barrage en remblais	Intervention au niveau du bloc sous la géomembrane du talus 206,5/220 du barrage en réalisant une ouverture hors du niveau d'eau et un retrait du bloc poinçonnant, puis une réparation de la découpe. L'intervention doit se faire rapidement avant que le niveau de surnageant soit trop haut pour dégager le bloc.
Puits de pompage aval	Réparation de la fuite observée sur la ligne 630mm de retour de pompage et déplacement de la ligne 315 mm sur une zone plane (à côté de la ligne 630 mm par exemple ou sur une autre zone si manque de place).
	Dévoisement des gaines contenant l'alimentation électrique du puits de pompage aval (actuellement le long du pied et de la crête de talus en rive droite de l'évacuateur de crues) pour garantir leur intégrité.
Drain de dérivation sud	Réalisation d'une étude de stabilité des talus naturels autour du bassin de stockage KO2, notamment au droit des talus au sud. La mise en œuvre de matériaux drainant de protection (type enrochement) au niveau des dépressions créées par les effondrements est recommandée afin de maîtriser l'érosion des talus naturels.
	Intégrer la vérification de l'état des talus naturels et des ouvrages de parement et de soutènement en place à la liste des points à inspecter lors des rondes mensuelles interne PRNC
	Evacuer le tas de géotextile arraché dans le bassin de dissipation en exutoire du drain et réparer la protection des talus
Bassin nothofagus	Déboucher et désencombrer les drains de collecte des eaux de ruissellement
Coffret électrique DA-1 et DA-2 du système d'auscultation en pied du barrage	La protection des câbles avec une gaine flexible jusqu'à la base du coffret
	Le regroupement des câbles par secteur avec un code associé
	L'identification de tous les câbles ou groupe de câbles
	La protection complète de la zone boitier/panneau solaire/câbles par une boucle fermée de barbelés.
Système d'auscultation	Amélioration de la signalisation des têtes d'ouvrage du système d'auscultation (exemple : pose de piquets bois peints, ou peinture des têtes en rouge ou jaune)
Conduites du système de drainage	Une évaluation de la déformation des conduites a été réalisée et a estimé que pour une charge maximale de 35 m de résidus, la déformation ne dépasserait pas 7,5 % (facteur de sécurité 3). Il est recommandé l'évaluation de déformation de rupture à l'écrasement des conduites (pour un facteur de sécurité de 1,5) sous le poids maximal des résidus du bassin de stockage. L'évaluation de la

Ouvrage	Recommandations
traversant le barrage (4)	rupture à l'élongation doit être également analysée ainsi que la longueur de conduites soumise à l'élongation.
	Poursuite des opérations de curage des conduites de manière continue et à une fréquence fixe.
	Poursuite des vidéos inspections des conduites afin de suivre l'évolution des phénomènes d'ovalisation, de tassement, de changement de pente, d'abrasions et de dépôts dans les conduites (en particulier de la conduite 4, jusqu'à désobstruer le bouchon de dépôts à 147 m).

Les recommandations de priorité moyenne et basse sont présentées dans le rapport ETC en Annexe K.

D'après les dernières VTA réalisées depuis l'ETC, l'ensemble des recommandations/actions retenues par PRNC ont été réalisées.

5.1.2 Bilan de conception, de comportement et d'état de l'ouvrage – Eléments généraux

5.1.2.1 Rappel des ouvrages concernées

Pour rappel, le parc à résidus KO2 comprend les éléments suivants :

- ➔ Un barrage ;
- ➔ Un bassin de stockage ;
- ➔ Un dispositif d'étanchéité recouvrant le bassin de stockage et le parement amont du barrage ;
- ➔ Une barge de pompage ;
- ➔ Un évacuateur de crues ;
- ➔ Différents systèmes de drainage des eaux (exhaure, eaux de ruissellement, eaux souterraines...) ;
- ➔ Des canalisations de transfert des résidus et surnageant ;
- ➔ Un système d'auscultation.

La description détaillée de l'ouvrage et de ses organes annexes est réalisée en partie 3 « Analyse fonctionnel de l'ouvrage et de son environnement » de la présente étude des dangers.

5.1.2.2 Contexte réglementaire

Le projet minier de Goro ayant été initié au départ par la compagnie canadienne Inco, les documents de référence utilisés lors de la conception du parc à résidus KO2 étaient le « Guide de Gestion des Parcs à Résidus » de l'Association Minière du Canada [45] ainsi que le « Guide sur la sécurité des ouvrages » de l'Association Canadienne des Barrages [46].

La conception du projet s'appuie également sur les standards et normes Française et Européenne, d'après le manuel d'exploitation, d'entretien et de surveillance [10].

Le bilan de la conformité de l'ensemble des critères de conception est présenté dans le rapport de GCT – Goro Construction Team [47]. Ce document précise quels sont les critères applicables et les compare par rapport à ceux indiqués dans le document des meilleurs techniques disponibles sur la gestion des résidus et stériles des activités minières de la Commission Européenne [48] et indique dans quels documents les informations correspondantes se trouvent.

5.1.2.3 Historique du parc à résidus KO2

Pour situer l'évolution et les événements relatifs au parc à résidus KO2, une chronologie des éléments importants durant la conception et la construction du parc à résidus est disponible ci-dessous :

Tableau 40: Historique des événements de conception et construction importants [10]

Date	Evènements importants
2004 à 2006	Conception initiale du barrage réalisée par Golder Associates
Novembre 2004	Dépôt dossier CTPBOH (Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques) du barrage KO2
Novembre 2005	Début des travaux préliminaires de dérivation des eaux et batardeau
Février 2007	Fin des travaux préliminaires et du batardeau et début de construction du barrage Phase 1
Avril 2007	Changement de l'accotement Sud pour éviter l'arbre protégé « Planchonella Latihila » (conception du « dog leg »)
Novembre 2007	Dépôt du dossier ICPE Kwe Ouest
Décembre 2007	Début de la pose de la géomembrane
Mars 2008	Evaluation du tassement excessif du barrage au CH 400
Juin 2008	Arrêté ICPE Kwe Ouest
Décembre 2008	Obturation de la conduite de déviation et démarrage du remplissage du bassin de stockage des résidus
Juillet 2009	Mise en marche des pompes de la barge du bassin de décantation
Juillet 2009	Premiers essais de dépôt solides (pulpe de minerai non raffiné)
Janvier 2010	Déposition des premiers résidus issus de la lixiviation
2012	Début de construction du barrage Phase 2
2013-2014	Conception et construction des 9 stations de décharges (barbacanes) réparties sur les talus Nord et Sud entre les banquettes 195 et 206,5

	ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY	
---	---	---

Date	Evènements importants
Fin 2014 – début 2015	Remplissage des cellules d’essais
2015-2016	Construction des 3 stations de décharges (barbacanes) sur le talus Nord entre les banquettes 206,5 et 220
Avril 2016	Dépôt du porté à Connaissance du projet DWP1 auprès de l’administration
2ème semestre 2016	Construction de l’usine de démonstration DWP1
Octobre et novembre 2016	Dépôts des dossiers réglementaires du projet Lucy
Décembre 2016	Fin provisoire de la construction du parc à résidus KO2 – reste à finaliser l’évacuateur de crues et une portion du talus Sud au niveau de la réserve écologique « forêt Nord » secteur W06/W07.
Janvier 2017	Démarrage de l’usine de démonstration DWP1
Mars 2017 - 2019	Stockage des résidus asséchés au niveau de la verse DWP1
Novembre 2019	Début des travaux de finalisation du talus Sud (secteur W06/W07)
Septembre 2019	Le projet Lucy (stockage de résidus asséchés en amont et à l’aval du barrage KO2) a été suspendu en septembre 2019.
2021	Actualisation du projet Lucy : stockage uniquement à l’aval du barrage KO2 permettant de prolonger la durée de vie du parc à résidus KO2 et de conforter le barrage existant.
2021	Début des travaux de finalisation de l’évacuateur de crues

5.1.2.4 Principaux critères du dimensionnement

Dans le cadre du dimensionnement de l’ouvrage, les objectifs visés ainsi que les principaux critères de conception associés ont été définis sur la base de différentes crues de dimensionnement, tel que synthétisé dans le tableau ci-après. La conception associée pour les différents ouvrages est détaillée dans les paragraphes suivants.

Tableau 41: Synthèse des critères de conception des ouvrages liés à la gestion des eaux [10]

Ouvrage	Fonction	Réurrence de la crue de dimensionnement/Débits de dimensionnement
Evacuateur de crues à la cote 229 m	Evacuer les eaux en cas de crues afin d'empêcher leur débordement par-dessus le barrage	1 000 000 ans (soit la « PMP » : pluie maximale probable)
Bassin de stockage des résidus	Stocker les eaux associées à une crue centennale, 10 jours afin d'empêcher l'écoulement d'eau par l'évacuateur de crues pendant l'exploitation du parc à résidus	100 ans, 10 jours
Fossés/canaux périphériques de dérivation	Collecter les eaux de ruissellement en provenance des bassins versants amont et ce afin de limiter l'apport d'eau dans le bassin de stockage des résidus	10 ans
Coursier enroché	Récupérer les eaux de ruissellement issues du drain de dérivation Sud et du bassin versant du Dogleg avant de rejoindre l'exutoire exutoire	100 ans
Drains de pied du barrage KO2 collectant notamment les eaux en provenance de la cheminée drainante et du tapis drainant	Collecter les eaux en provenance de la cheminée drainante et du tapis drainant afin de dissiper les pressions interstitielles et éviter la création d'une nappe dans le corps du barrage	5 ans (pour les drains aval)
Drains horizontaux	Intercepter les venues d'eaux souterraines latérales et de les évacuer vers l'aval du barrage.	Crue cinquantennale(Q50) d'une durée de 5 h
Réseau de sous drainage	Réduire les surpressions en collectant les eaux issues des circulations souterraines et d'éventuelles infiltrations de surnageant ou de résidus	Le débit d'écoulement total utilisé pour le dimensionnement est de 500 l/s (125 l/s par collecteur).

5.1.3 Bilan de conception initiale du parc à résidus KO2 et de ces organes annexes - Construction et principaux travaux

La présente partie détaille les éléments de conception, de construction, et les principaux travaux réalisés..

5.1.3.1 Conception initiale : parc à résidus KO2

5.1.3.1.1 Description

Le parc à résidus est composé d'un bassin de stockage de résidus fermé par un barrage et barrage en aval, dénommé barrage KO2.

Le barrage KO2 appartient à la catégorie des digues construites par étapes avec noyau amont. Il a donc été construit en différentes étapes, puis développé vers l'aval. Les éléments le constituant sont présentés dans les parties suivantes :

- ➔ Le batardeau : Le batardeau représente la digue initiale du barrage. D'une hauteur de 15 mètres, il a été construit pour protéger les travaux préparatoires et le remblai du barrage des eaux de ruissellement pendant la phase 1 de construction. Il fait partie intégrante de la structure du barrage en constituant son pied amont.
- ➔ Le corps du barrage : constitué par les couches suivantes :
 - Zone 1A – Noyau étanche : Il s'agit de la zone correspondant au noyau étanche située en aval de la géomembrane. Cette zone intègre le batardeau.
 - Zone 2A – Remblais de transition : La Zone 2A est une surface de travail en cuirasse ferrugineuse localisée sur la face amont du barrage, ainsi qu'en protection contre l'érosion sur la face aval de la première étape de construction du barrage. Elle est censée résister temporairement à l'érosion, assurer une piste praticable pour le transport de matériaux de construction lorsque nécessaire et fournir une couche d'ancrage pour la géomembrane située en amont. Cette couche a été remplacée par des matériaux de la Zone 1A en face amont du barrage, suite à l'observation de particules anguleuses après érosion de surface, avant la pose de la géomembrane (au-delà de la cote 195 m NGNC).
 - Zone 2B – Cheminée drainante : La Zone 2B est un drain rocheux interne en forme de cheminée permettant de contrôler les infiltrations. La séparation avec la Zone 1A en amont s'effectue par l'intermédiaire d'une couche de géotextile. Une deuxième couche de géotextile sépare cette Zone 2B des matériaux de la Zone 3 à l'aval.
 - Zone 2D – Tapis drainant : La Zone 2D est une couche drainante en remblai rocheux. Elle se trouve à l'interface entre la fondation et les remblais du barrage (à l'exclusion du batardeau) en vue de contrôler les remontées de la nappe en provenance de la fondation.

La séparation de la zone 2D avec, d'une part, la fondation et, d'autre part, les zones 3 sus-jacentes est réalisée par l'intermédiaire d'une couche de géotextile épais.

- Zones 3A / 3B / 3C – Remblais de structure du barrage : Les matériaux des Zone 3 correspondent au remblai de masse du barrage situés à l'aval de la cheminée drainante et au-dessus du tapis drainant. Dans ces zones, afin de limiter le risque de développement de pressions interstitielles au sein des niveaux latéritiques pendant la construction, des niveaux de remblai rocheux drainants sont intercalés avec les niveaux latéritiques. Les couches de remblai rocheux intercalées doivent contenir des vides, c'est à dire que les fines ne doivent pas combler les vides.

- La Zone 3A : La Zone 3A est composée de remblai de masse bien drainé ne tolérant pas de pression interstitielle. L'objectif était d'atteindre un coefficient de pression interstitielle r_u inférieur à 0,01.
- La Zone 3B : La Zone 3B est composée de remblai de masse moins bien drainé que la Zone 3A, tolérant une légère présence de pression interstitielle. L'objectif était d'atteindre un coefficient de pression interstitielle r_u inférieur à 0,03.
- La Zone 3C : La Zone 3C est composée de remblai de masse encore moins bien drainé que la Zone 3B, tolérant la présence de pression interstitielle modérée. L'objectif était d'atteindre un coefficient de pression interstitielle r_u inférieur à 0,15.

- Zone 4 – Paroi de protection contre l'érosion aval : La Zone 4 constitue le parement aval du barrage, résistant à l'érosion. Elle doit fournir une protection à long terme du barrage.

➔ Le système d'étanchéité : Le système d'étanchéité du barrage est constitué par une géomembrane de type PEBDL (Polyéthylène basse densité linéaire) de 2 mm d'épaisseur positionnée sur la face amont du barrage. Les latérites compactées de la Zone 1A du parement amont du barrage viennent compléter l'étanchéité apportée par la géomembrane en créant ainsi une structure composite.

➔ La protection amont contre l'effet des vagues : Une protection additionnelle en enrochement est disposée le long de la crête du barrage afin de fournir une revanche supplémentaire pour protéger l'ouvrage, en conditions de fermeture, contre l'effet des vagues liées au vent sur le plan d'eau, et contre des événements extrêmes de type PMP (Pluie Maximale Probable) et ainsi prévenir le risque d'érosion et de déversement.

➔ Le merlon de sécurité en bordure de crête : Un merlon en enrochement a été installé en bordure de crête côté aval. Il représente un rebord supplémentaire pour assurer une circulation sécurisée des individus et des véhicules.

Le bassin de stockage est caractérisé par les éléments suivants :

- ➔ Le système d'étanchéité par géomembrane : Le fond du bassin de stockage ainsi que les talus jusqu'à la banquette 232 sont recouverts par une géomembrane PEBDL de 1,5 mm d'épaisseur. Le système d'étanchéité par géomembrane du bassin de stockage des résidus a pour vocation de réduire les risques de contamination des eaux souterraines par infiltration des résidus et surnageant. En mars 2023, les talus de l'ensemble du parc à résidus sont recouverts de géomembrane jusqu'à leur sommet.
- ➔ Les talus internes : Les pentes des talus internes du parc à résidus sont les suivantes :
 - 2H/1V pour le parement situé entre la banquette 220 et la banquette 232 ;
 - 2,5H/1V pour le parement situé entre la banquette 206 et la banquette 220 ;
 - 3H/1V pour le parement inférieur à la banquette 206.
- ➔ La plage de résidus subaérienne : La plage de résidus subaérienne, représente la partie du bassin de stockage des résidus où se regroupe la portion solide de la pulpe des résidus après décantation, formant ainsi une zone hors d'eau.
- ➔ La zone de décantation subaquatique : La zone de décantation subaquatique, représente la partie du bassin de stockage des résidus où la décantation des résidus s'effectue sous l'eau. Le plan de déposition assure l'existence d'un point bas, recueillant la fraction liquide de la pulpe de résidus ainsi que les eaux de pluie (pluie au niveau de l'impluvium direct ainsi que le ruissellement supplémentaire en cas de débordement des drains périphériques), l'ensemble des deux étant appelé le « surnageant ».
- ➔ L'arrivée des résidus sous forme de pulpe : Le système de transfert de minerai et de résidus sous forme de pulpe s'effectue par le biais d'un réseau de pipelines reliant l'Unité de Préparation du Minerai (UPM), le parc à résidus KO2 et l'usine hydro-métallurgique.

Les banquettes Sud « 206 » et Nord « 220 » sont équipées d'un système de drainage horizontal, mis en place sous la géomembrane sous forme de tapis drainant, et dont les exutoires nord et sud se situent en aval du barrage.

Les talus disposent d'un second système de drainage, appelé stations de décharge, jouant le rôle de barbacanes et disposées le long des flancs. L'ensemble de ces stations de décharges est aujourd'hui scellé.

5.1.3.1.2 Construction et Phasage

La période de construction du barrage s'est étendue de novembre 2005 à fin 2016 et a été divisée en 3 étapes. Ces trois étapes sont les suivantes :

- ➔ Une étape préliminaire de construction avec la mise en place du batardeau en latérite compactée entre novembre 2005 et début 2007. Durant cette phase de travaux, une conduite de 1,2 m de diamètre extérieur et de 3,5 mm d'épaisseur a été mise en place dans une tranchée sous la base du batardeau. Elle a permis de drainer en aval du barrage l'eau de ruissellement s'accumulant en amont du batardeau pendant la durée des travaux. Durant la phase 1 de construction, cette conduite a été condamnée par remplissage de coulis de béton avant le démarrage des activités de stockage des résidus ;
- ➔ L'étape 1 représente la première élévation du barrage jusqu'à la cote 220 m. Elle a débuté en 2006 et a été finalisée en 2015. La déposition dans le bassin de stockage a débuté dès décembre 2008.
- ➔ L'étape 2, comprenant la construction jusqu'à atteindre la cote finale de 232 m, a été concomitante avec l'exploitation du parc à résidus, et a démarré en 2012 pour s'achever en 2016.

La conception de l'accotement Sud du barrage comporte un tronçon en "retour" de la crête (le « dog-leg ») d'une longueur environ égale à 267 m et de même hauteur que le reste du barrage. Ce tronçon retour a été conçu lors de la phase 2 de construction afin d'éviter un arbre protégé (espèce « Planchonella Latihila », [10]).

D'après les informations transmises par PRNC, les travaux de construction des talus internes se sont déroulés entre 2009 et 2016, en concomitance avec les 2 phases de construction du barrage.

La géomembrane est aujourd'hui installée partout dans le parc à résidus jusqu'à la banquette 232.

Avant la mise en place de l'étanchéité, le fond du parc à résidus a fait l'objet d'une préparation comprenant un retrait de la végétation, une excavation de la cuirasse de fer de surface et la mise en place d'une couche de limonite compactée.

5.1.3.1.3 Dimensionnement

Les principaux critères de dimensionnement initiaux retenus sont présentés dans le Tableau 42 ci-après.

Tableau 42 : Principaux critères de dimensionnement initiaux du barrage KO2 [52]

Type	Ouvrage poids en remblai zoné constitué de latérites et de niveaux rocheux
Terrain de fondation	Latérites sédimentaires (alluvions et colluvions), latérites en place, saprolites, péridotites au centre de la vallée (cuirasse décapée). Latérites et péridotites pour les appuis Sud et Nord
Matériaux de construction	Excavés dans le bassin ou dans l'environnement immédiat du barrage : Latérites, cuirasse ferrugineuse et matériaux rocheux.

Déposition des résidus	Depuis 2 points : à l'est du col de l'antenne et à environ 250 m à l'ouest de l'appui sud du barrage
Bassin de décantation	Contre le barrage dans l'angle nord-est du bassin d'où le surnageant sera pompé pour traitement à l'usine
Planning de construction	Etape 1 : crête à la cote 220 m NGNC Etape 2 : crête à la cote 232 m NGNC par la méthode de construction aval
Capacité de stockage autorisée (ICPE)	45 M m ³
Caractéristiques des résidus	Résidus épaissis jusqu'à environ 43% de solides, transportés hydrauliquement jusqu'au barrage Plage de déposition à 1% de pente (plage subaérienne) et 2% de pente (plage subaquatique) Densité sèche moyenne des résidus déposés : 0,75 t/m ³
Stabilité (coefficient de sécurité statique)	Long terme $\geq 1,5$ Court terme $\geq 1,3$ (pendant la construction et sans perte de confinement) En cas de séisme $\sim 1,1$
Evènements sismiques	SBO* : magnitude 6,5, APS* de 1,5 m.s ⁻² pour une période de retour de 475 ans SCM* : -champ proche, magnitude 6,0 à environ 10 km du site, APS* de 2,2 m.s ⁻² sur site -champ lointain (subduction), magnitude 8,5 à environ 250 km, APS de 0,7 m.s ⁻² sur site
Critères sismiques	Matériaux de construction et de fondation non liquéfiables En cas de SCM, le déplacement en crête sera < 1 m
Etanchéité de la face amont du barrage	Géomembrane Poly Ethylène Basse Densité Linéaire (PEBDL ou LLDPE) de 2 mm d'épaisseur
Evènement pluvieux devant être stocké en cas de crue (ICPE)	1:100 AEP, 10 jours
Evacuateur de crues	Evacuation d'une CMP

*SBO : Séisme de Base en Opération ; SCM : Séisme de Conception Maximal ; APS : Accélération de Pointe au Sol ; CMP : Crue Maximale Probable

Le barrage comporte quatre (4) talus et trois (3) banquettes étanches sur le parement amont (à 185, 206,5 et 220 m NGNC) et trois (3) talus et deux (2) banquettes sur le parement aval (à 191,2 et 211,2 m NGNC). La crête du barrage est à une altitude de 232 m NGNC. Tous les talus du barrage ont une pente de 2H/1V.

En rive droite le barrage dispose d'une partie en retour appelée « dogleg ». En rive gauche, il s'appuie sur un éperon rocheux le séparant de l'évacuateur de crues.

Les principaux éléments relatifs à la géométrie du barrage KO2 sont présentées dans le Tableau 43 ci-dessous.

Tableau 43 : Critères géométriques du barrage KO2

Type	Ouvrage poids en remblai zoné constitué de latérites et de niveaux rocheux
Hauteur au-dessus du terrain naturel	Batardeau : 15 m Barrage : 63 m (du pied aval à la crête)
Longueur en crête	1058 m (Barrage) + 267 m (Dogleg) = 1325 m
Largeur en crête	10 m
Largeur maximale au niveau du terrain naturel	330 m
Fruit du parement amont	2H / 1V (largeur des banquettes : 10 m) 2,43H / 1V de pente intégratrice
Fruit du parement aval	2H / 1V (largeur des banquettes de 9 m et 20 m) 2,5H / 1V de pente intégratrice
Altitude de la crête du barrage	De 231,6* m aux appuis à 232,6 m au centre (au 09/02/2023)
Altitude du merlon en crête du barrage	De 232,2 m aux appuis à 233,4 m au centre (au 24/11/2021)
Hauteur du merlon en crête	0,6 m en moyenne
Volume du corps du barrage	Volume total = 7,8 M m ³

* : Le point bas de la crête du barrage est donc situé au niveau de l'angle du dogleg avec une cote de 231,6 m NGNC ce qui est 40 cm inférieur à la cote nominale de la crête (232 m NGNC). La capacité de stockage en cas de crue est donc limitée à la cote 231,6 m NGNC et non 232 m NGNC.

5.1.3.2 Conception initiale - Dispositif d'étanchéité

5.1.3.2.1 Description

5.1.3.2.1.1 Objectifs du système d'étanchéité

Un système de membrane étanche est installé au fond du bassin de stockage, sur les talus ainsi que sur la face amont du barrage.

Les objectifs de ce système d'étanchéité sont :

- D'assurer une barrière contre les infiltrations du surnageant vers les eaux souterraines (la qualité du surnageant ne respectant pas les critères de rejet d'eau dans l'environnement, son infiltration pourrait en effet conduire à un impact sur la qualité des eaux souterraines) ;
- De contrôler le gradient hydraulique dans le corps et la fondation du barrage pour assurer sa stabilité et son intégrité.

5.1.3.2.1.2 Caractéristiques du système d'étanchéité

Le système d'étanchéité mis en œuvre est constitué des éléments suivants :

- Une géomembrane en polyéthylène basse densité linéaire PEBDL (ou LLDPE - Linear Low Density Polyethylene) dont l'épaisseur dépend des zones concernées dans le bassin de stockage des résidus :
 - 1,5 mm sur les talus et sur le fond du bassin de stockage ;
 - 2,0 mm sur la face amont du barrage.
- Un sol support constitué d'une couche de limonite compactée de faible conductivité hydraulique, inférieure à 1×10^{-8} m/s. Cette surface est préparée et adoucie (roulée) et la perméabilité de cette couche support est contrôlée en fonction du compactage effectué ;
- Un système de drainage interceptant les eaux souterraines et les orientant vers un puits de pompage situé en aval du barrage. Ce dispositif est constitué d'un réseau de drains regroupés en différents secteurs reliés à des collecteurs (voir détail associé en section 5.1.3.5.1).

L'étendue finale de la zone étanchée par géomembrane couvre une superficie de l'ordre de 140 hectares (impluvium, ou la surface projetée) correspondant à :

- La totalité du bassin de stockage des résidus, jusqu'à la banquette 232 ;
- La totalité de la face amont du barrage [10].



Figure 59: Vue sur la géomembrane et lests en fond de bassin lors de la phase de construction de l'aire de stockage KO2 (Source [10])

5.1.3.2.2 Critères de dimensionnement

En application des meilleures techniques disponibles utilisées dans le domaine minier, le système d'étanchéité est constitué par une géomembrane en polyéthylène basse densité (LLDPE) associée à un système de drainage sous-jacent [10].

La géomembrane LLDPE a été choisie pour ses propriétés en termes de résistance à la traction, en prenant en compte les tassements significatifs, ainsi qu'en termes de résistance chimique vis-à-vis des résidus ainsi que pour sa facilité de manipulation lors de la pose.

Par rapport à une géomembrane HDPE, la géomembrane LLDPE présente les avantages suivants [10] :

- Résistance élastique supérieure, diminuant ainsi les risques de poinçonnement, et ceux de rupture ;
- Résistance à la friction supérieure (risque de glissement de la géomembrane atténué) ;
- Manipulation plus facile car elle est moins lourde et moins rigide.

Elle est également plus résistante que les géomembranes à texture. Seule la rampe d'accès à la barge de pompage est équipée d'une géomembrane texturée. La rampe d'accès en zone W06/W07 sera également recouverte d'une géomembrane texturée.

La surface sur laquelle la géomembrane est installée doit rencontrer des exigences bien spécifiques pour éviter les perforations (ou poinçonnement) et pour faciliter sa mise en œuvre. Les matériaux en contact avec la géomembrane sont fins, installés sur une surface lisse et compactés.

La géomembrane est ancrée dans une tranchée au sommet des talus et la continuité de la géomembrane entre talus inférieur, la tranchée d'ancrage, la banquette et le talus supérieur est assurée par soudure.

Sur les banquettes, la géomembrane est recouverte d'un géotextile et d'une couche de latérite permettant de limiter les risques de dégradation de la géomembrane. Ce géotextile est positionné à l'amont et à l'aval de la banquette afin d'envelopper la latérite et former un ballast.

Un contrôle qualité, assuré tout au long de la construction, par l'entreprise Geosynthetic Consultant Australia (« GCA ») a permis d'assurer la pose de la géomembrane dans les règles de l'art.

Le système de drainage sous la géomembrane au fond du bassin de stockage ainsi que sur les banquettes et talus est décrit dans la section 5.1.3.5.

5.1.3.3 Conception initiale - Barge de pompage

5.1.3.3.1 Description

5.1.3.3.1.1 Principe général

Les eaux surnageantes sont pompées au niveau de la barge de pompage équipée de 3 pompes électriques principales et 1 motopompe diesel de secours. Ce dispositif de pompage est utilisé de manière à minimiser la profondeur (et la superficie) du bassin de décantation.

Les eaux ainsi pompées sont orientées vers l'unité 285 de l'usine hydrométallurgique pour permettre leur traitement et leur rejet à l'environnement ou leur réutilisation comme eau de procédé (voir Partie 3 « Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de l'environnement » de la présente étude).

La capacité totale de pompage est d'environ 2 100 m³/h. Il est possible d'utiliser différentes configurations de pompage (avec une, deux ou trois pompes simultanément) selon les besoins et en fonction de la capacité de traitement au sein de l'unité 285.

5.1.3.3.1.2 Amarrage et déplacement du dispositif de pompage

La barge est une unité flottante amarrée au minimum sur 4 corps-morts préalablement installés soit au fond du bassin, soit le long de la rampe d'accès à la barge, soit encore sur les banquettes. Le but est de maintenir la barge pour qu'elle résiste à l'action des vagues et du vent.

Cette barge peut être déplacée et amarrée à différents endroits pour :

- Permettre d'éventuelles opérations de maintenance (changement des pompes par exemple) ;
- Suivre l'élévation du stockage de résidus et la positionner à un emplacement optimal répondant à l'évolution de la zone de décantation.

5.1.3.3.1.3 Modalités de contrôle

Le système de pompage permet de respecter durant toute la phase d'exploitation une revanche minimale sur la PHEN (niveau des Plus Hautes Eaux) pour contenir à l'intérieur du parc à résidus le volume d'eau d'une crue centennale d'une durée de 10 jours. La revanche minimale est de 1,8 mètres, correspondant à la cote de la crête du barrage à 231,6 m diminuée par la cote du niveau de remplissage après une crue PHE, soit 229,8 m.

Les pompes sont opérées à partir de la salle de contrôle de l'unité de traitement des effluents (unité 285).

Le débit de pompage est adapté en fonction des objectifs de vidange du bassin de décantation, de la capacité de traitement existante à chaque instant dans l'unité de traitement des effluents, ainsi que par le niveau d'eau sous la barge de pompage.

Au regard de la configuration de la barge de pompage, une contrainte opérationnelle, liée à la turbidité de l'eau pompée, doit être prise en compte afin ne pas risquer d'endommager les pompes. En effet, les pompes ne sont pas dimensionnées pour aspirer des eaux chargées en solide. Il est donc important de veiller à ce qu'il y ait une hauteur d'eau suffisante sous la barge et ce afin d'éloigner les crépines des pompes du toit des résidus.

La profondeur d'eau sous la barge est mesurée par un sonar installé sur la barge. La mesure étant peu fiable du fait de la turbidité des eaux au-dessus du toit des résidus, un GPS a également été installé sur la barge afin de mesurer en continu le niveau d'eau du bassin de décantation. Ces données permettent d'aiguiller l'opération de la barge de pompage et peuvent engendrer un arrêt du pompage lorsque la hauteur d'eau sous la barge est trop faible.

Une sonde de turbidité située sur la canalisation de transfert du surnageant permet également d'indiquer :

- si l'eau pompée rencontre la limite de concentration en solide maximale pour le fonctionnement des pompes. Les spécifications des pompes indiquent une concentration en solides pouvant varier de 0% à 2% en masse ;
- si l'aspiration des pompes est trop proche du toit des résidus (augmentation de la turbidité à proximité du toit des résidus) ;
- si l'eau pompée possède un pourcentage solide trop élevé pour être envoyée à l'unité 285 pour traitement.

Deux seuils d'alerte ont été mis en place :

- Seuil de niveau haut : H = 1500 NTU ;
- Seuil de niveau très haut : HH = 1600 NTU.

Ces seuils permettent d'aiguiller l'opération de la barge de pompage et peuvent engendrer un arrêt du pompage lorsque la turbidité est trop haute et ce afin d'éviter l'endommagement des pompes. La figure suivante présente les hauteurs d'eau minimales sous la barge pour permettre d'assurer le pompage.

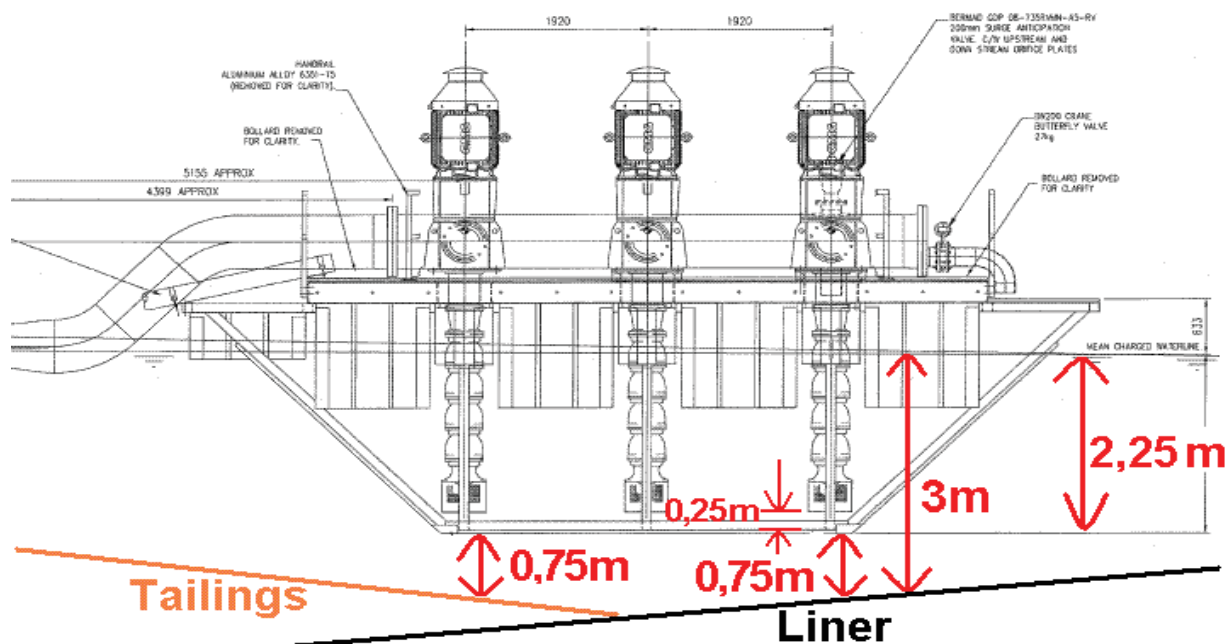


Figure 60: Schéma explicatif de la profondeur des résidus sous la barge dans l'aire de stockage (Source :[10])

5.1.3.3.2 Critères de dimensionnement

Les volumes de pompage d'eau du bassin de décantation sont planifiés pour respecter les critères d'opération énumérés dans le tableau ci-dessous .:

Tableau 44: Critère de fonctionnement de la barge de pompage

N° critère	Critère
1	Permettre avant la finalisation de l'évacuateur de crues d'avoir la capacité de rétention d'une PMP (pluie maximale probable) sans débordement par-dessus la crête du barrage.
2	Permettre d'accumuler le volume d'eau engendré par un événement pluvieux de récurrence 100 ans dont la durée serait de 10 jours à l'intérieur du bassin recouvert de géomembrane.

	ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY	
---	---	---

N° critère	Critère
3	Le volume d'eau doit être suffisant pour permettre à la barge de flotter et d'avoir une hauteur d'eau suffisante entre les résidus déposés et les crépines des pompes et ce afin d'éviter de les endommager.
4	Minimiser le volume d'eau du bassin de décantation pour favoriser la création de plages de résidus, optimisant ainsi leur consolidation, et ce afin de gagner en capacité de stockage

Il est rappelé que le niveau de résidus dans le bassin de stockage est suivi au moyen de relevés bathymétriques, permettant de réaliser, en corrélation avec les données d'opération (volumes entrants/sortants) et les données pluviométriques, un récolement volumique du bassin.

Par ailleurs, ces volumes obtenus sont comparés avec le plan de déposition initial et avec les données de débits et de pourcentage solide de la pulpe de résidus en entrée du parc.

5.1.3.4 Conception initiale - Evacuateur de crues

5.1.3.4.1 Description

Le parc à résidus est équipé d'un évacuateur de crues à seuil libre, taillé dans la roche en forme d'escalier et situé au niveau de l'appui Nord du barrage. Le seuil a une largeur de 70 m calée à la cote 229 m NGNC. Il alimente un chenal d'évacuation dont l'exutoire restitue les eaux déversées à la rivière Kwé Ouest.

D'une importance primordiale pour la sécurité du barrage, l'évacuateur de crues doit être en mesure d'empêcher :

- ➔ Le débordement de l'eau par-dessus le barrage (déversements) ;
- ➔ L'apparition de phénomènes d'érosion à l'aval du barrage dans la zone de rejet.

5.1.3.4.2 Critères de dimensionnement

La conception initiale a été réalisée en 2005 par Golder[52]. Dans cette conception, l'évacuateur de crues est creusé dans le substratum constitué, en majorité, de roche saine de forte résistance mécanique. De plus, le coursier de l'évacuateur de crues est conçu en forme d'escalier composé de dix (10) niveaux de 11 m de longueur séparés par des talus verticaux de 2 à 4 m de hauteur. Cette conception a pour vocation d'assurer l'amortissement des vitesses d'écoulement au niveau de chaque gradin, réduisant ainsi l'effet érosif de l'eau lors des fortes crues.

L'ouvrage a été conçu pour évacuer une crue d'une période de retour de 1 000 ans (débit de pointe de crue extrême de 158 m³/s pour le bassin versant de 2,7 km²) pendant l'exploitation du parc à résidus. En fin d'exploitation c'est-à-dire lors de la fermeture du parc à résidus, il est prévu d'abaisser la hauteur du déversoir libre de 230 m à 229 m. Le déversoir sera alors dans la capacité d'évacuer une crue exceptionnelle d'une période de retour théorique de 1 000 000 années (Crue Maximale Probable).

Une barre de seuil en béton armé entre les cotes 229 m et 230 m NGNC devait être installée afin de fournir une capacité de stockage supplémentaire lorsque le bassin de stockage des résidus KO2 serait presque plein. Cette barre de seuil en béton armé a été retirée du projet lors de la confirmation du lancement du projet Lucy.

De plus, afin de réduire les délais et coût des travaux liés à la construction de l'évacuateur de crues, une conception optimisée a été proposée. MECATER, le prestataire en charge de la finalisation des travaux de l'évacuateur de crues, a réalisé des études supplémentaires. Ainsi, sur la base des résultats des simulations numériques et des essais expérimentaux réalisés sur modèle réduit, pour les débits de crues décennale, millénale et CMP, les modifications suivantes ont été apportées au design de l'ouvrage par rapport à la conception initiale :

- Réduction du nombre de gradins dans le coursier à 9 au lieu de 10 ;
- Création d'un canal central renforcé en béton armé permettant d'évacuer les crues de récurrence inférieure à la crue millénale avec des légers débordements à faible vitesse dans les sections latérales du coursier et sans sollicitation significative de leur structure ;
- Confortement des gradins du canal central par :
 - Des dalles en béton armé de 15 cm d'épaisseurs ancrées au rocher sain par des clous en partie horizontale ;
 - Des voiles préfabriqués en béton armé ancrés par des clous en partie verticale ;
- Confortement des 5 premiers gradins des sections latérales par un grillage double torsion ancré au rocher par des clous et béton projeté (partie horizontale et verticale);
- Confortement des rives Ouest et Est du coursier ;
- Réduction de la largeur du coursier en rive Est, au niveau des 2 dernières marches et du bassin de dissipation, d'environ 15 m. Cette réduction de la largeur est assurée par l'aménagement d'un mur en béton armé ancré au rocher sain par des clous et permet de limiter l'impact des travaux d'excavation du coursier sur l'appui Nord du barrage KO2 ;
- Creusement du bassin de dissipation jusqu'à la cote 190 m NGNC ;
- Limitation de la pente du chenal de restitution à 3% ;
- Rattrapage du niveau du terrain naturel par l'aménagement de trois chutes d'eau protégées par des enrochements libres de diamètre maximal de 1500 mm et munies de trois bassins de plongée ;
- Mise en place d'enrochements de diamètre maximal de 1500 mm au niveau du fond et des talus du chenal de restitution.

Le tableau suivant décrit les éléments prévus dans la conception de l'évacuateur de crues.

Tableau 45: Synthèse des éléments de design de l'évacuateur de crue (Mecater 2022)

Elément			Description
Chenal d'amenée		Cote	229 m NGNC
		Superficie	1 800 m²
Seuil	Section de contrôle	Largeur	70 m
		Longueur	5 m
		Epaisseur	0,25 m
		Tranchée d'ancrage	1,05 m de profondeur

Elément			Description
	Bassin en béton armée	Largeur	70 m
		Longueur	de 5 à 10 m
		Cote de la crête	229 m NGNC
		Cote du fond	226 m NGNC au centre et 227 m NGNC aux extrémités
		Ouverture	20 m de largeur Disposée à la cote 226
		Radier	0,25 m avec voiles de hauteur variables et d'une épaisseur de 0,25 m
Liaison entre seuil et coursier	Murettes	Hauteur	3 m
		Epaisseur	0,25 m
Coursier	Gradins	Nombre	9
		Largeur	70 m
		Longueur	10,15 m
		Hauteur	4 m
		Pente	1V/0,2H ou 78°
	Section centrale	Largeur	20 m
		Murettes de délimitation	1 m de hauteur et 0,20 m d'épaisseur
		Pente	1V/0,2H ou 78°
		Hauteur	4 m
		Longueur	10,15 m
		Crues	Evacuation des crues fréquentes (réurrence inférieure ou égale à la millénale) avec des légers débordements à faible vitesse dans les sections latérales du coursier et sans sollicitation significative de leur structure).
	Sections latérales	Crues	Évacuation des crues supérieures à une réurrence millénale et jusqu'à la crue PMP.
	Mur de rétrécissement	Hauteur maximale	6 m
		Epaisseur du mur	Varie entre 20 et 35 cm

Elément		Description
Bassin de dissipation	Cote de l'intérieur du bassin	190 m NGNC
	Largeur	70 m
	Longueur	20 m
	Profondeur	4 m
	Revêtement	Enrochements de 1000 mm de diamètre (si qualité de la roche au fond du bassin s'avère médiocre)
Chenal de restitution	Longueur	1,1 km
	Largeur minimale à la base	15 m
	Pente maximale	3%
	Rejet	Rivière Kwé Ouest
PMP : Pluie maximale probable retenue dans le design de l'EVC		2400 mm/24H
CMP : Crue maximale Probable		290 m ³ /s
Critère de dimensionnement	Crue	CMP (1:1 000 000)
	Volume	14 Mm ³
	Débit de pointe	290 m ³ /s (72h)
Cote de Retenue Normale (RN) : Altitude du seuil		229 m NGNC
Cote maximale du plan d'eau (PHEN)		229,8 m NGNC
Cote maximale du plan d'eau (PHEE)		230,9 m NGNC
Hauteur de déferlement (runup)		0,8 m
Revanche sur la PHE		231,6 (point bas actuel de la crête) – 230,9 = 0,7 m

L'estimation de la cote de danger (cote au -delà de laquelle la stabilité de l'ouvrage ne peut plus être garantie) se base sur les éléments suivants :

- Les mécanismes de rupture critiques des analyses de stabilité ne sont que très peu impactés par le niveau d'eau à l'intérieur du bassin de stockage ;
- Le niveau d'eau maximale atteint lors d'une crue de type CMP. Lors d'un tel évènement, la lame d'eau au niveau du seuil de l'évacuateur est estimée à 1,9 m, pour un seuil à la cote 229 m NGNC, ce qui engendre donc une cote maximale dans le cas d'une CMP de 230,9 m NGNC ;

- Le point bas de la crête de l'ouvrage est de 231,6 m NGNC (levé du 09/02/2023) ;
- Le niveau haut de la géomembrane se situe à la cote 230 m NGNC, à la base de la couche de rip-rap côté amont, ce qui correspond donc à une cote au plus bas de 230 m NGNC (au niveau des appuis) ;
- Le niveau haut du noyau étanche en latérite compactée (Zone 1A à l'aval de la géomembrane) se situe 70 cm sous la crête du barrage (et du dogleg), ce qui correspond donc à une cote au plus bas de 230,9 m NGNC (février 2023). Une couche de géotextile épais est présente à l'interface entre le rip-rap côté amont et le noyau étanche 1A, afin d'isoler la zone 1A du rip-rap.

Ces éléments poussent à considérer que la cote de danger du barrage est située à la cote 231 m NGNC.

5.1.3.5 Conception initiale – Système de gestion des eaux du parc à résidus KO2

Les éléments suivants seront développés dans cette section :

- Système de drainage situé sous la géomembrane ;
- Puits de pompage en aval du barrage ;
- Les drains de pied du barrage ;
- Drains (fossés) de dérivation Nord et Sud, et bassin Nothofagus qui interceptent les eaux de ruissellement des bassins versants en amont des flancs du parc à résidus ;
- Coursier du dog-leg en enrochement ;
- Drainage des talus et des banquettes, composé de :
 - Stations de décharges (barbacanes) placées sur les flancs Nord et Sud au droit des principaux thalwegs, pour intercepter les éventuelles venues d'eaux souterraines latérales et les empêcher de détériorer l'intégrité des flancs du parc à résidus ;
 - 2 drains horizontaux implantés le long du talus Nord à la cote 220 m et le long du talus Sud à la cote 206,5 m dont la fonction est d'intercepter les écoulements latéraux souterrains sous la géomembrane pour les évacuer en aval du barrage.
- Les décanteurs en aval du parc à résidus KO2.

5.1.3.5.1 Système de drainage des eaux souterraines situé sous la géomembrane

5.1.3.5.1.1 Description

Un réseau de drains est installé sous la géomembrane sur le fond du bassin de stockage des résidus et sur les talus internes. Il permet de réduire les surpressions en collectant les eaux issues des circulations souterraines et d'éventuelles infiltrations de surnageant ou de résidus. Le réseau de drainage est organisé en quatre (4) secteurs distincts. Chacun d'eux possède :

- ➔ Un réseau de drains tertiaires : il intercepte les eaux souterraines et d'éventuelles infiltrations d'eau liées à des fuites dans la géomembrane ;
- ➔ Un réseau de drains secondaires : il collecte et draine les flux des drains tertiaires en direction des drains primaires ;
- ➔ Un réseau de drains primaires : il recueille les eaux en provenance des drains secondaires et les dirige vers un collecteur ;
- ➔ Un collecteur en PEHD : il récupère les eaux en provenance des drains primaires.

Les quatre (4) collecteurs traversent les fondations du barrage dans sa partie centrale, dans un massif en béton armé composé d'éléments préfabriqués, puis ils se dirigent vers le puits de pompage aval.

Le flux de chaque secteur est ainsi différencié lorsqu'il se jette dans le puits de pompage en aval du barrage. Il est donc possible de pré-identifier une zone au sein du bassin de stockage en cas d'anomalie détectée sur l'une des quatre (4) conduites (anomalie de débits ou de qualité des eaux par exemple).

5.1.3.5.1.2 Critères de dimensionnement

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des collecteurs en PEHD des secteurs de drainage.

Tableau 46: Caractéristiques des conduites collectant les eaux drainage des 4 secteurs sous la géomembrane (Source :[30])

Caractéristiques	Description
Critère de dimensionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Débit d'écoulement total = 500 L/s ; - Débit d'écoulement par collecteur = 125 L/s.
Géométrie	4 conduites en PEHD type « SDR 17 » de diamètre égal à 400 mm (diamètre intérieur égal à 315 mm)

	ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY	
---	---	---

Caractéristiques	Description
Disposition	Sous l'emprise du barrage, les conduites sont coulées dans une structure en béton armé. Des joints de fractionnement sont incorporés à la structure tous les 12 m de long afin de résister à des phénomènes de tassement ou de déformation.
Paramètres suivis sur les eaux d'exhaure	<ul style="list-style-type: none"> - Fréquence en continu : Débit et conductivité ; - Fréquence hebdomadaire : Chimie et taux de MES.
Organe mobile	Vanne à l'aval de chaque conduite
Exutoire	Puits de pompage aval

5.1.3.5.2 Puits de pompage aval

5.1.3.5.2.1 Description

Dans la partie centrale du pied aval du barrage, il existe un point bas naturel. Le puits de pompage est implanté dans cette zone, au niveau de la sortie des collecteurs. Il a pour fonction de collecter les eaux d'exhaure du dispositif de drainage situé sous la géomembrane. Un système de vannes permet de diriger les eaux collectées vers le puits de pompage (voir Figure 61 ci-dessous).



Figure 61: Vue sur le puits de pompage à l'aval du barrage (Source : GEOs4D, le 18/11/2021)

5.1.3.5.2.2 Mode de fonctionnement du puits de pompage aval

Le fonctionnement du puits de pompage est géré par des automates. Plusieurs niveaux ont été définis pour assurer le démarrage automatique et successif des différentes pompes équipant le puits selon l'évolution de la hauteur d'eau. Le but de l'automatisation du processus de pompage repose sur la nécessité d'une intervention immédiate afin d'éviter tout débordement.

Depuis 2019, le puits est équipé de 5 pompes raccordées à deux lignes d'exhaure en PEHD.

Le puits de pompage aval possède les pompes électriques suivantes :

- Pompe immergée 285-PPM-012 d'une capacité de pompage de 150 m³/h ;
- Pompe immergée 285-PPM-013 d'une capacité de pompage de 150 m³/h ;
- Pompe électrique 285-PPM-011 d'une capacité de pompage de 650 m³/h.

Les pompes sont contrôlées à partir de la salle de contrôle de l'unité de préparation du minerai (UPM). Selon le débit à pomper, il est possible d'opérer une ou plusieurs pompes simultanément. Le débit de pompage varie donc en fonction du nombre de pompes utilisées, la capacité totale de pompage étant d'environ 900 m³/h.

Une séquence automatique de pompage est mise en œuvre pour gérer le démarrage/arrêt des différentes pompes. Cette séquence est basée sur le niveau d'eau dans le puits de pompage aval.

Deux sondes de niveau sont utilisées pour suivre ce niveau d'eau et permettre le déclenchement des pompes selon la séquence définie.

En cas de coupure de l'alimentation électrique, les pompes de secours suivantes peuvent être utilisées :

- Pompe 285-PPP-021, alimentée par un groupe électrogène autonome, d'une capacité de pompage de 160 m³/h ;
- Motopompe diesel 285-PPP-301 d'une capacité de 400 m³/h.

Les eaux pompées au niveau du puits de pompage aval peuvent être envoyées en direction du parc à résidus KO2 ou de l'UPM pour utilisation dans le procédé.

Deux conduites sont disponibles :

- Conduite DN630 pour l'envoi des eaux vers le parc à résidus KO2, en cas de débit élevé et d'utilisation de la pompe 285-PPM-011 ou des deux pompes de secours (285-PPP-021 et 285-PPP-301) ;
- Conduite DN315, en cas de débit modéré avec aiguillage possible des eaux vers :
 - o L'UPM (boucle de procédé 215-210) ;
 - o Le parc à résidus KO2.

Les eaux transitant par la conduite DN315 sont, autant que possible, recirculées vers l'UPM. En effet, cette recirculation présente deux avantages principaux :

- Eviter l'ajout d'eau dans le bassin de décantation du parc à résidus ;
- Eviter l'ajout d'eau dans le bassin de décantation du parc à résidus.

5.1.3.5.2.3 Destination des eaux en sortie du puits de pompage

Le débit et la qualité de l'eau en provenance de chacune des conduites sont mesurés en continu. Les modalités de gestion des eaux pompées ont évolué en décembre 2017 (cf. arrêté n°1466-2008/PS du 09/10/2008 modifié le 13/12/2017).

Avant décembre 2017, les eaux pompées étaient orientées en fonction de leur conformité avec les limites de rejet prescrites dans l'arrêté d'exploitation :

- Conforme : rejet à l'environnement ;
- Non conforme : retour des eaux vers le bassin de stockage des résidus ou vers l'UPM.

Depuis décembre 2017, aucun rejet à l'environnement provenant du système de drainage sous la géomembrane n'est autorisé. L'article 2.2 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté n°1466-

2008/PS du 9/10/2008 (arrêté ICPE Kwé Ouest) qui autorisait ce rejet a été remplacé par l'article 11.1.5.1 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté ICPE Lucy à compter de la date de notification de cet arrêté le 13/12/2017. Les eaux sont donc envoyées vers le bassin de stockage des résidus ou vers l'UPM en fonction des besoins en eaux de procédé (maximum 400 m³/h).

5.1.3.5.3 Les drains de pied du barrage

5.1.3.5.3.1 Description

Un système de drains, aussi appelés fossés, permet de collecter les eaux d'exhaure provenant du système de drainage interne au barrage (cheminée et tapis drainant) ainsi que les eaux pluviales ruisselant sur le parement aval du barrage.

Les drains sont situés en pied aval du barrage, le long de ce dernier. Il existe trois (3) secteurs de collecte :

- ➔ La partie nord du barrage se draine dans le fossé nord (point de rejet 4R7) ;
- ➔ La partie sud du barrage se draine dans le fossé sud (point de rejet 4R8) ;
- ➔ La partie centrale du barrage se draine en un point de rejet unique central (point de rejet 4R9).

Les fossés excavés dans le terrain naturel sont recouverts d'un géotextile et d'enrochements.



Figure 62: Vue sur les drains (fossés) de pied aval du barrage [10]

Les trois (3) fossés disposent à l'aval d'un seuil jaugeur permettant de mesurer le débit et de suivre la conductivité en continu.

Ainsi, les eaux y transitant sont échantillonnées à fréquence hebdomadaire et sont rejetées vers l'environnement selon les critères répertoriés dans le Tableau 47 ci-dessous.

Tableau 47: Critères ICPE de rejet vers l'environnement des eaux issues du drainage du barrage [10]

Paramètres	Valeur Limite ICPE
Débit	-
Température	30°C
Ph	Entre 5,5 et 8,5
Conductivité	-
Concentration en MES	35 mg/L
Sulfates	-
Manganèse et composés (Mn)	1 mg/L

Fin 2020, en raison d'une conductivité élevée chronique, mesurée au niveau du drain 4R9, un bassin de reprise a été construit. Il est implanté à l'aval de la confluence des trois (3) drains de pied. Ainsi, les eaux collectées par les drains de pieds aval se rejettent dans le bassin de reprise en béton armé, aussi appelé « puisard ». Il a pour objectif le pompage et la recirculation vers le puits de pompage aval des effluents drainés par les drains de pied.

Suite à l'infiltration observée entre août et novembre 2022, les installations associées à ce puisard de collecte ont évolué. Deux containers enterrés ont, en effet, été installés à l'aval du puisard de collecte afin de collecter les eaux en cas de débordement du puisard de collecte principal et ce afin de garantir l'absence de rejet vers le milieu naturel.

Les pompes électriques suivantes ont été installées :

- Puisard de collecte principal (285-PND-003) : Pompe 286-PPM-003 d'une capacité de pompage de 120 m³/h ;
- Container enterré n°1 (285-PND-004) : Pompe 286-PPM-014 d'une capacité de pompage de 200 m³/h ;
- Container enterré n°2 (285-PND-005) : Pompe 286-PPM-015 d'une capacité de pompage de 200 à 300 m³/h.

Ces trois pompes électriques sont alimentées par une salle électrique (285-ESR-005), secourue par un groupe électrogène. Le démarrage/arrêt de ces pompes se fait via des poires de niveau en fonction du niveau d'eau dans le puisard et dans chacun des containers.

En cas de coupure de l'alimentation électrique, la salle électrique 285-ESR-005 est secourue par un groupe électrogène de secours afin de maintenir l'alimentation des pompes électriques. Par ailleurs, la pompe thermique 440-PPO-004, d'une capacité de 200 m³/h, est disponible afin de collecter les eaux depuis le puisard de collecte principal (282-PND-003).



Figure 63: Puisard de collecte et container enterré (décembre 2022)

5.1.3.5.3.2 Critères de dimensionnement

Une synthèse des caractéristiques des fossés drainants est présentée dans le Tableau 48 ci-dessous.

Tableau 48: Caractéristiques des fossés drainants en aval du barrage captant les eaux d'exhaure du tapis drainant et les eaux de ruissellement du parement aval du barrage [30],[52]

Caractéristiques		Description
Critère de dimensionnement du Drain Nord		<ul style="list-style-type: none"> - Evènement de crue dimensionnant : période de retour = 5 ans (« Q5 ») ; - Débit de pointe de Q5 variant de 0,5 à 3,4 m³/s le long du drain (sachant qu'un évènement de crue Q100 se traduirait par un débit de pointe variant de 1,1 à 7,3 m³/s le long du drain).
Critère de dimensionnement du Drain Sud		<ul style="list-style-type: none"> - Evènement de crue dimensionnant : période de retour = 5 ans (« Q5 ») ; - Débit de pointe de Q5 variant de 0,4 à 2,9 m³/s le long du drain (sachant qu'un évènement de crue Q100 se traduirait par un débit de pointe variant de 0,9 à 6,2 m³/s le long du drain).
Géométrie		<ul style="list-style-type: none"> - Fossés de forme trapézoïdale ; - Pente des talus : 2H / 1V ; - Largeur de base : 2 m ; - Excavés dans le terrain naturel et recouverts d'un géotextile, d'une couche de transition (pour le fossé nord) et protégé par un enrochement (« rip-rap ») ; - Fossé Nord protégé par une épaisseur d'enrochements (« rip-rap ») variant de 0,15 à 0,7 m ;

Caractéristiques	Description
	<ul style="list-style-type: none"> - Fossé Sud protégé par une épaisseur d'enrochements variant de 0,1 à 0,55 m.
Seuils limnimétriques de mesure de débit et qualité des eaux des 3 drains (voir Partie 4 de la présente EDD)	<ul style="list-style-type: none"> - Seuil « 4R7 » en aval du drain Nord ; - Seuil « 4R8 » en aval du drain Sud ; - Seuil « 4R9 » en aval du drain central.
Paramètres suivis	<ul style="list-style-type: none"> - En continu : débit et conductivité ; - Journalier : Débit instantané ; - Hebdomadaire : Chimie, concentration en MES.
Exutoire	Eaux dirigées vers un puisard de collecte. Il est équipé d'une pompe d'une capacité de 120 m ³ /h. En cas de débordement, deux containers enterrés ont été installés en aval, chacun étant muni d'une pompe d'une capacité de 200 m ³ /h. Une pompe diesel de secours, d'une capacité de 200 m ³ /h, est également disponible

5.1.3.5.4 Drain de dérivation Nord, bassin Nothofagus et drain de dérivation Sud

5.1.3.5.4.1 Description

Des drains de dérivation ont été installés afin d'intercepter les eaux de ruissellement des bassins versants naturels du flanc Nord et du flanc Sud du parc à résidus KO2. Ils sont situés à la limite entre le terrain naturel et le talus supérieur du bassin de stockage des résidus. Leur fonction est de dévier les eaux de ruissellement vers l'aval du barrage afin d'éviter leur accumulation dans le parc à résidus KO2.

L'exutoire de ces ouvrages est constitué par :

- Pour le canal nord : Un dalot construit au niveau du seuil de l'évacuateur de crues. Les eaux ainsi collectées se rejettent dans le bassin de contrôle de l'évacuateur de crues du parc à résidus ;
- Pour le canal sud : Un coursier enroché et bétonné, situé en pied de barrage au niveau de l'appui sud.



Figure 64: Vue sur le drain de dérivation nord des eaux de ruissellement (GEOs4D, le 24/11/2021)



Figure 65: Vue sur le drain de dérivation sud des eaux de ruissellement (GEOs4D, le 24/11/2021)

Le bassin Nothofagus permet de tamponner les débits des eaux de ruissellement d'une partie du flanc nord avant leur arrivée dans le drain de dérivation nord.



Figure 66: Vue sur le bassin Nothofagus (GEOs4D, le 24/11/2021)

5.1.3.5.4.2 Critères de dimensionnement

Le Tableau 49 suivant détaille les caractéristiques de conception des drains de dérivation Nord et Sud.

	ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY	
---	---	---

Tableau 49: Caractéristiques des drains de dérivation des eaux de ruissellement des versants [30]

Caractéristiques	Description
Drain Nord	
Crue dimensionnement de	Crue dimensionnante décennale (« Q10 »)
Critère dimensionnement de	<ul style="list-style-type: none"> - Crue Q10 pendant 35 minutes (temps de concentration) ; - Débit de pointe de Q10 variant de 0,8 à 7,0 m³/s le long du canal.
Géométrie générale	Canal en L bétonné du Col de l'Antenne jusqu'au Nothofagus, puis de forme trapézoïdale et recouvert d'une géomembrane et/ou Coletanche® jusqu'à l'exutoire. La section de drain allant de Nothofagus à l'exutoire a été achevée en 2018.
Géométrie du canal en L	<ul style="list-style-type: none"> - Pente de talus 1H / 1V en rive gauche ; - Pente de talus de 5H / 1V en rive droite ; - Largeur de la base variant de 0,5 m à 2,5 m ; - Profondeur variant de 0,55 m à 0,9 m ; - Pente longitudinale variant de 0,75 à 2,05% ; - Canal bétonné sur une épaisseur de 0,15 m sur un béton de propreté de 0,1 m.
Géométrie du canal de forme trapézoïdale	<ul style="list-style-type: none"> - Pente des 2 talus 1H / 1V ; - Largeur de la base de 2,5 m en moyenne ; - Profondeur variant de 0,9 m à 1,5 m ; - Pente longitudinale variant de 0,20 à 1,03% ; - Canal recouvert de Coletanche® et/ou d'une géomembrane ; - Enrochements au niveau des passages busés.
Revanche	0
Exutoire	Evacuateur de crues
Drain Sud	
Crue dimensionnement de	Crue dimensionnante décennale (« Q10 ») avec un canal de basses eaux dimensionné pour une crue Q2 (1:2 ans).

Caractéristiques	Description
Critère de dimensionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Crue Q10 pendant 35 minutes (temps de concentration) avec un débit de pointe variant de 0,7 à 7,2 m³/s le long du canal ; - Crue Q2 pendant 35 minutes (temps de concentration) avec un débit de pointe variant de 0,5 à 5,1 m³/s le long du canal ;
Géométrie du canal dimensionné pour une crue Q10	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de la largeur de la route comme canal d'évacuation des eaux en complément du canal de basses eaux ; - Pente longitudinale égale à 0,5% ; - Hauteur d'eau maximale estimée sur la route pour une crue Q10 égale à 30 cm environ.
Géométrie du canal basses eaux dimensionné pour une crue Q2	<ul style="list-style-type: none"> - Canal de forme trapézoïdale ; - Pente des talus égale à 2H / 1V ; - Largeur de la base variant de 0,25 m à 1 m ; - Profondeur variant de 0,5 m à 1,5 m ; - Pente longitudinale égale à 0,5% - Epaisseur d'enrochement variant de 0,35 m à 0,45 m le long du tracé ;
Revanche	<ul style="list-style-type: none"> - 0,3 m pour une crue Q2 ; - 0,15 m pour une crue Q10.
Exutoire	En aval du pied du barrage et de l'accotement sud, dans un coursier enroché

Les dimensions du bassin Nothofagus sont d'environ 61 x 44 m et sa surface est d'environ 2 475 m².

5.1.3.5.5 Coursier enroché du dog-leg

5.1.3.5.5.1 Description

Un coursier enroché récupère les eaux de ruissellement issues du drain de dérivation Sud et du bassin versant du dog-leg. Ce coursier est visible en Figure 67 ci-dessous.



Figure 67: Vue sur l'aval du coursier enroché récupérant les eaux du drain de dérivation sud et du bassin versant du dog-leg [53]

5.1.3.5.5.2 Critères de dimensionnement

Les caractéristiques de ce coursier sont synthétisées dans le Tableau 50 ci-dessous.

Tableau 50: caractéristiques du coursier enroché du bassin versant du dog-leg [30]

Caractéristiques	Description
Crue de dimensionnement	Dimensionnement pour reprendre la crue décennale (Q_{10}) arrivant du drain de dérivation Sud et la crue centennale (Q_{100}) provenant du bassin versant du dog-leg.
Critère de dimensionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Crue Q_{10} + crue Q_{100} ; - Débit de pointe : $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (pour Q_{10}) + $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (pour Q_{100}).

Caractéristiques	Description
Caractéristiques géométriques	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Canal de forme trapézoïdale (du chainage CH11,35 à CH95) :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Pente de talus égale à 2H / 1V ; • Largeur de la base de 4 m ; • Profondeur de 1,5 m ; • Pente longitudinale variant de 0,1 à 25% ; • Epaisseur d'enrochements bétonnés variant de 0,3 à 0,6 m le long du tracé. - <u>Structure en béton armé (BA) et mixte (du CH95 à CH170) :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Dalle et murs en BA de 1,5 à 2,25 m de hauteur ; • Largeur de la base variant de 3 m à 5,75 m ; • Pente longitudinale variant de 0,1 à 0,15%. - <u>Canal de forme trapézoïdale (du CH170 à CH393,9) :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Pente de talus égale à 2H / 1V ; • Largeur de la base variant de 5 à 6 m ; • Profondeur de 1,35 m ; • Pente longitudinale variant de 0,1 à 25% ; • Epaisseur d'enrochements bétonnés variant de 0,3 à 0,6 m le long du tracé. - <u>Bassin de dissipation :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Cote 182,75 m ; • Longueur variant de 9 à 13 m ; • Largeur variant de 6 à 10 m ; • Enrochement bétonné côté amont et enrochement classique côté aval ; • Epaisseur de l'enrochement variant de 0,35 à 0,60 m ; • Evacuation par 10 tuyaux de diamètre 600 mm positionnés entre 183,2 m et 183,5 m. • Surverse en gabions à 184,25 m.
Revanche	0,3 m

5.1.3.5.6 Drains horizontaux souterrains 206 Sud et 220 Nord et stations de décharge

5.1.3.5.6.1 Description

Des résurgences d'eau de subsurface ont été constatés sous la géomembrane lors des phases de constructions (ces eaux présentent des caractéristiques plus proches des eaux de pluie que celles des eaux souterraines : faible conductivité).

Des systèmes de drainage de ces eaux ont donc été mis en place afin de préserver la géomembrane et l'intégrité des flancs du bassin de stockage en empêchant des potentielles mises en pression par ces résurgences latérales.

Ce dispositif de drainage a évolué en fonction de l'avancement et du phasage des travaux de construction du barrage :

- Un système de stations de décharges ou barbacanes a tout d'abord été mis en place entre 2015 et 2016 au niveau des talus des flancs du parc ; entre les banquettes 195 et 206 pour le flanc Sud et entre 195 et 220 pour le flanc Nord. Ces systèmes permettaient à l'eau de subsurface de s'écouler par débordement de la station de décharge dans le parc plutôt que de s'accumuler sous la géomembrane. Leur conception a été réalisée en 2012 par l'entreprise SNC-Lavalin. La Figure 68 suivante présente une des stations en place. Aujourd'hui, toutes les stations de décharges ont été bétonnées.



Figure 68: Vue sur une station de décharge (exemple station 2-1 du talus 206/220, aujourd'hui bétonnée),
[44]

- Un système plus optimal constitué de drains horizontaux de subsurface a par la suite été implanté afin d'intercepter les venues d'eaux souterraines latérales et de permettre un rejet de ces eaux à l'extérieur du parc à résidus, en aval du barrage. Ce système de drainage horizontal comprend ainsi :
 - Sur le flanc Sud : un drain à la cote 206 m dont l'exutoire se rejette en pied aval du barrage, au niveau de l'appui sud. Dans le courant de l'année 2022, ce drain sera rallongé et l'exutoire déplacé en direction de la carrière de latérite Sud et ne se rejettera donc plus d'eau en pied du barrage ;
 - Sur le flanc Nord : un drain à la cote 220 m (la construction du barrage vers l'appui Nord étant trop avancé pour faire passer le drain collecteur à la cote 206) avec le bassin décanteur KW-D33 comme exutoire.

Les exutoires des drains sont présentés en Figure 69 et Figure 70 ci-dessous :



Figure 69: Vue sur l'exutoire du drain horizontal de subsurface Nord se rejetant dans le bassin de sédimentation KW-D33 (GEOs4D, le 18/11/2021)



Figure 70: Vue sur l'exutoire du drain de dérivation souterrain sud (GEOs4D, le 18/11/2021)

5.1.3.5.6.2 Critères de dimensionnement

Le dimensionnement des drains horizontaux et des stations de décharge a été réalisés par SNC Lavalin. Les deux exutoires de ces drains au travers de la fondation du barrage ont été dimensionnés par Golder.

Les caractéristiques principales de ces drains et de leurs exutoires sont présentées dans le Tableau 51 ci-après.

Tableau 51: caractéristiques des drains horizontaux [30]

Caractéristiques	Description
Crue de dimensionnement	Dimensionnement sur la base des débits estimés au niveau des sources observés au niveau des talus internes lors d'une crue cinquantennale(Q_{50}) d'une durée de 5 h
Critère de dimensionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Débit des sources pour un événement Q_{50} (5h) ; - Débit de pointe : <ul style="list-style-type: none"> • Drain Nord 220 : 1,4 m³/s • Drain Sud 206,5 : 2,2 m³/s
Caractéristiques géométriques	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse d'écoulement minimum : 0,9 m/s à pleine capacité - Vitesse d'écoulement maximum : 5 m/s - Coefficient de Manning : 0,012 - <u>Drain collecteur Nord 220 :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Tuyau diamètre 750 mm à 1050 mm PN8 – SDR21 PEHD PE100 (perforé et non perforé) • Pente longitudinale variant de 0,25 à 0,88% • Longueur : 1410 m - <u>Exutoire drain Nord 220 :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Tuyau diamètre 1200 et 630 mm, PN8 – SDR21 PEHD PE100 plein • Pente longitudinale variant de 0,2 à 38,6% • Tuyau dans une tranchée de 1,5 m de profondeur et de largeur variant de 3 à 3,5 m, remplie de sable-ciment stabilisé • 2 filtres-diaphragmes le long de la conduite - <u>Drain collecteur Sud 206,5 :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Tuyau PN8 – SDR21 PE100 de diamètre 630 mm (amont) à 1200 mm (aval) perforé et non perforé • Pente longitudinale variant de 0,2 à 1% • Longueur : 1450 m - <u>Exutoire drain Sud 206.5 :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Tuyau diamètre 1200 et 800 mm, PN8 – SDR21 PEHD PE100 plein • Pente longitudinale variant de 0,2 à 16%

Caractéristiques	Description
	<ul style="list-style-type: none"> Tuyau dans une tranchée de 1,5 m de profondeur et de largeur variant de 3 à 3,5 m, remplie de sable-ciment stabilisé 2 filtres-diaphragmes le long de la conduite

5.1.3.5.7 Décanteurs de la zone du parc à résidus KO2

Les décanteurs de la zone du parc à résidus font également partie du périmètre du parc, et sont situés à l'aval du barrage. Ces décanteurs récupèrent une partie des eaux issues du drainage du parc (hormis celles issues du drainage sous la géomembrane).

Les décanteurs KW D15 et KW D19 dépassent un volume de 10 000 m³ et leur hauteur de digue périphérique atteint 5 m au minimum. Ces décanteurs nécessitent donc une surveillance particulière et un curage dès que la hauteur de sédiments atteint 30% de la hauteur d'eau disponible.

Le tableau suivant présente ces deux ouvrages spécifiques.

Tableau 52: Description des bassins décanteurs KW D19 et KW D15 [10]

Décanteurs	Type d'ouvrage	Hauteur d'eau capable*	Hauteur de la digue**	Volume retenu***	Mode de rejet	Milieu récepteur
KW D19	Barrage digue	3,5 m	5,5 m	25 000 m ³	Vidange	Affluent de la Kwé Ouest
KW D15		4,8 m	4,9 m	17 500 m ³	Surverse	

* Hauteur du fond de l'ouvrage au déversoir.

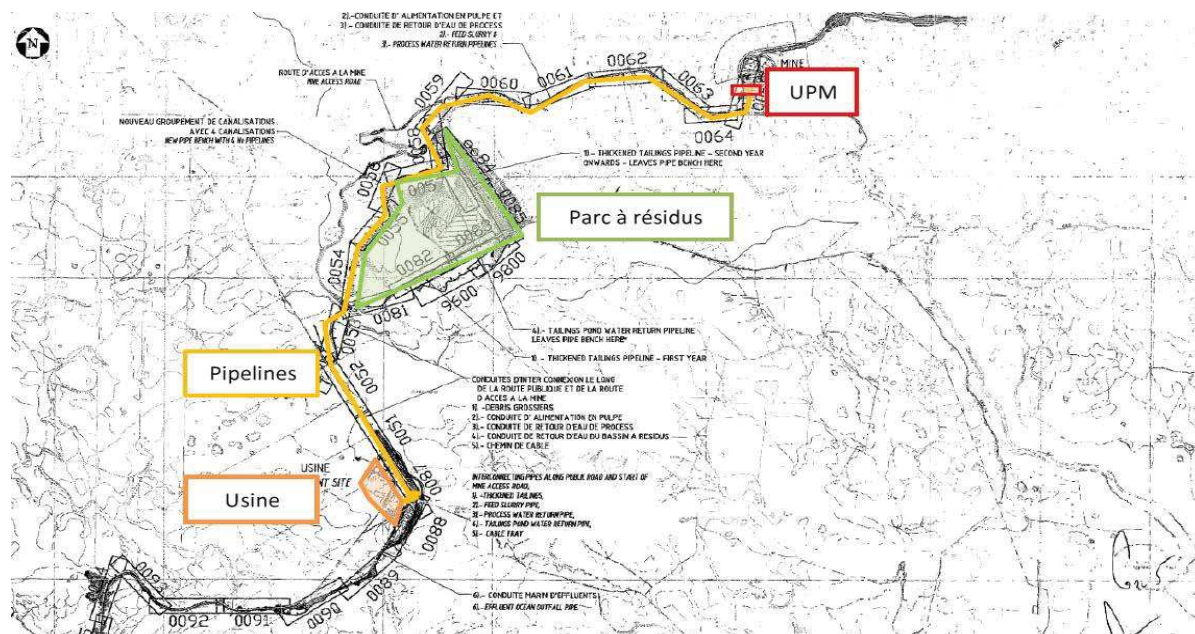
** La plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de la digue et le terrain naturel.

*** Volume retenu par la digue à la cote de retenue normale.

Il est à noter que tous ces décanteurs vont être supprimés/modifiés dans le cadre des travaux préparatoires de la verse Lucy.

5.1.3.6 Conception initiale - Système de transfert de résidus humides et pipelines

Le système de transfert de minerai et de résidus sous forme de « pulpe » se fait via un réseau de pipelines de 8 km de long reliant l'UPM, le parc à résidus KO2 et l'usine hydro-métallurgique. Ce réseau est installé comme présenté sur la Figure 71 ci-dessous : Le minerai est transféré en voie humide à l'usine hydro-métallurgique distante de 8km de l'UPM. Les résidus issus du traitement hydro-métallurgique sont ensuite transférés en voie humide au parc à résidus distant de 2km. L'ensemble des pipelines est regroupé le long d'un chemin de pipelines qui comprend en plus : un pipeline d'eau de procédé pour la mise en pulpe du minerai, un pipeline d'eau brute pour alimenter



Départ	Arrivée	Ressource transférée	Dimension
Aire de stockage (barge de pompage)	Unité de traitement 285*	Surnageant de l'aire de stockage	D = 630 mm Type PEHD PN 10
Puits de pompage aval du barrage	UPM	Eaux d'exhaure provenant du système de drainage sous la géomembrane	D = 315 mm Type PEHD
Puits de pompage aval du barrage	Aire de stockage		Type PEHD 630 mm PN16

*Unité de l'usine métallurgique

**Unité de Préparation du Minerais

La pulpe de résidus est pompée, depuis l'usine hydro-métallurgique par 2 pompes centrifuges en série,[10].

La station de vannes située au col de l'antenne (Figure 72 ci-dessous) permet de sélectionner quelle ligne de déposition des résidus est utilisée.

Au col de l'antenne des événements sont aussi installés pour éliminer d'une part les pressions négatives à l'intérieur de la tuyauterie qui pourraient provoquer l'implosion du pipeline dans certaines conditions et les éventuelles surpressions.



Figure 72: Système de vannes au niveau du col de l'Antenne [10]

5.1.3.7 Système d'auscultation et de suivi

5.1.3.7.1 Description

En phase d'exploitation, pour les barrages de classe A, l'installation d'un dispositif d'auscultation et le rendu d'un rapport d'auscultation tous les deux ans est réglementaire (décret du 12 mai 2015 modifiant le décret du 11 décembre 2007,[10]).

Le dispositif d'auscultation permettant la surveillance et le suivi de l'état du barrage est actuellement constitué des instruments suivants (voir également partie 4 « Politique de prévention des accidents majeurs et système de gestion de la sécurité (SGS) » de la présente étude des dangers) :

- Piézomètres à corde vibrante :
 - Dans les fondations du barrage : 89 ;
 - Dans le corps du barrage : 53 ;
- Tubes inclinométriques : 11 ;
- Tubes inclinométriques automatisés (SAAV) : 3
- Tubes extensométriques : 13 ;
- Tiges de tassements : 22 ;
- Monuments de surface : 25 ;
- Sonde de niveau d'eau du plan d'eau : Automatisation du système effectuée
- Seuils limnimétriques :
 - Au niveau des drains de pieds en aval du barrage : 3 munis de débitmètres et conductimètres ;
 - Au niveau des sources : 2 (suivi suspendu) ;
 - Stations limnimétriques : 2 ;
- Conduites des drains sous la géomembrane : 4 munies de débitmètres et conductimètres ;
- Piézomètres à l'aval : 19 répartis dans la zone aval du parc à résidus et 4 à l'extérieur.

Leur localisation ainsi que le détail de l'état de chaque instrument d'auscultation est précisé dans le rapport d'auscultation en Annexe L.

	<p align="center">ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY</p>	
---	---	---

5.1.3.7.2 Critères de dimensionnement

Le tableau ci-dessous synthétise le nombre et l'état de fonctionnement des différents types d'instruments installés.

Tableau 54: Situation des instruments d'auscultation installés au niveau du barrage (surface, corps et fondations) et à l'aval (GEOS4D 2023)

PARAMETRE SUIVI	INSTRUMENT	TYPE DE DONNEE	ZONE SURVEILLEE	NB D'INSTRUMENT	REMARQUE
Niveau piézométrique	Piézomètres à corde vibrante	Automatisée	- Fondation du barrage - Corps du barrage - Appuis du barrage	Fondation du barrage : 89 fonctionnels / 102 installés Corps du barrage : 53 fonctionnels / 65 installés	Dont 24 capteurs installés en 2021 Fondation : 20 fonctionnels / 20 installés en 2021 Barrage : 3 fonctionnels / 4 installés en 2021 Les capteurs sont connectés à 7 enregistreurs automatiques de données dont 3 installés en 2021
	Piézomètres ouverts	Manuelle et automatisée sur certains piézomètres	- Aval du barrage	29 répartis en aval hydrogéologique au 31/12/2021 (13 démantelés en novembre 2021)	Ils sont démantelés au fur et à mesure de l'avancement des travaux Lucy. Ils seront remplacés à termes par des piézomètres à corde vibrante dans le cadre de l'auscultation de la verse Lucy
Déplacements horizontaux	Tubes inclinométriques	Manuelle	- Crête du barrage - Banquettes aval du barrage	11	
	Tubes inclinométriques automatisés (SAAV)	Automatisée		3	En cours de déploiement
Tassements	Tubes extensométriques	Manuelle	- Fondation du barrage - Corps du barrage	13	
	Tiges de tassements	Manuelle	- Fondation du barrage - Pied aval du barrage - Conduites traversant le barrage	22	
Tassement et déplacement horizontal	Monuments de surface	Manuelle	- Fondation du barrage - Face aval du barrage - Crête du barrage	25	
Niveau du plan d'eau	Sonde de niveau d'eau	Manuelle puis automatisée	Bassin de décantation		Automatisation du système réalisée en 2022
Débit et conductivité	Sondes multi-paramètres	Manuelle et automatisée	- Réseaux de drainage sous la géomembrane - Drains de pieds* - Sources en aval - Stations limnimétriques.	Conduites du réseau de drainage sous la géomembrane : 4 Drains de pieds* en aval du barrage : 3 Sources : 2 Stations limnimétriques : 2	Le suivi des sources est suspendu pendant les travaux du projet Lucy
Qualité chimique	Analyse en laboratoires sur prélèvements	Manuelle	- Réseaux de drainage sous la géomembrane - Drains de pieds et puisard de collecte - bassin de décantation - Sources en aval - Eaux souterraines - Eaux de surfaces	Conduites du réseau de drainage sous la géomembrane : 4 Drains de pieds : 3/Puisard : 1 Bassin de décantation : 1 Sources : 2 Piézomètres : 23 Stations limnimétriques : 2	

5.1.4 Bilan de comportement de l'ouvrage

Le dernier rapport d'auscultation du barrage datant de décembre 2022 effectué par la société GEOs4D et transmis à MECATER, a été pris comme principale référence dans cette section 5.1.4. Cette section synthétise les résultats du rapport, qui est consultable en Annexe L.

5.1.4.1 Résultats de l'auscultation du barrage et du secteur aval

Il est rappelé dans le tableau suivant les types de comportements surveillés grâce au réseau d'instruments d'auscultation installés sur le barrage et à l'aval du parc à résidus KO2. Ces ouvrages ont été décrits dans la Partie 4 de la présente étude des dangers « Politique de prévention des accidents majeurs et système de gestion de la sécurité » :

Tableau 55: Comportements surveillés par le système d'auscultation en place sur le barrage KO2 et à l'aval [41]

Elément du parc à résidus KO2	Comportement surveillé
Corps du barrage	<ul style="list-style-type: none"> - Tassement de la crête, des 2 banquettes aval et en pied aval ; - Déplacement horizontal ; - Niveau piézométrique.
Fondation	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau piézométrique ; - Tassement.
Batardeau	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau piézométrique
Drains de pied en aval du barrage	<ul style="list-style-type: none"> - Débits ; - Conductivité ; - Taux de MES.
Drains sous la géomembrane	<ul style="list-style-type: none"> - Débits ; - Conductivité ; - Taux de MES.
Conduite de collecte des drains sous la géomembrane	<ul style="list-style-type: none"> - Tassement ; - Inspection vidéo
Nappes	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau piézométrique ; - 3 piézomètres sont équipés d'un capteur de conductivité.
Sources	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau piézométrique ;

Elément du parc à résidus KO2	Comportement surveillé
	<ul style="list-style-type: none"> - Température ; - Pression ; - Conductivité spécifique ; - Taux de MES.

La mise en place de l'auscultation du barrage a été réalisée au fur et à mesure de sa construction.

5.1.4.1.1 Piézométrie dans le corps du barrage

Le corps du barrage est divisé en plusieurs zones d'auscultation (Zone 1A, 3A, 3B, 3C). Le comportement des niveaux piézométriques des principales zones d'auscultation sont décrit ci-après :

- Les capteurs de pression interstitielle installés dans le corps du barrage enregistrent des pressions très faibles.
- Batardeau : Sur les capteurs encore en fonctionnement installés à la base du batardeau, des variations peu marquées du niveau piézométrique sont enregistrées, avec néanmoins des réactions saisonnières.
- Zone 1A : Les instruments installés dans la Zone 1A font exception et ont mesuré l'installation d'une nappe au sein des matériaux 1A depuis le courant de l'année 2016. L'augmentation de la pression interstitielle semblait être due à une fuite au travers de la géomembrane combinée à un niveau d'eau important et en augmentation.

L'augmentation observée début 2016 a ensuite été suivie d'une dissipation (au moins partielle) observée mi-2019, à la suite de la réduction importante de la quantité d'eau stockée dans le parc à résidus. Cette dissipation peut être liée soit au dénoyage des zones d'infiltration (avec l'abaissement du niveau d'eau), soit par le colmatage des zones d'infiltration par des résidus.

A noter que le même scénario d'augmentation de la pression interstitielle dans la Zone 1A (puis de dissipation des surpressions) a été ensuite observé début 2020 à la suite d'une forte augmentation du niveau d'eau du bassin (événement pluvieux majeur).

Ces fuites semblent avoir tendance à être colmatées par les résidus au fur et à mesure de leur montée dans le bassin. Mais d'autres fuites peuvent également devenir actives avec la montée du niveau d'eau concomitante, malgré les inspections et réparations régulières de la géomembrane sur la face amont du barrage.

Les capteurs directement à l'aval de la Zone 1A font l'objet d'une attention particulière afin de déceler des éventuelles augmentations de pression.

- Zone 3A : Dans la Zone 3A, les piézomètres installés présentent des valeurs relativement stables et indiquent qu'il n'y a pas de développement d'une quelconque nappe au sein de la Zone 3A, à l'exception du cas particulier du capteur WD-05 localisé à quelques mètres au-dessus du tapis drainant et à quelques mètres à l'aval de la cheminée drainante. Ce capteur est situé au niveau de la face aval du batardeau où la couche de latérite compactée 3A n'est pas présente entre la cheminée drainante et le sandwich latérite-roche (Zone 3A), ce qui engendre que les niveaux rocheux drainants sont en contact avec la cheminée drainante. Ce capteur présente une réaction à tout évènement pluvieux intense de façon similaire aux capteurs installés dans la fondation.
- Zone 3B et 3C : Les valeurs observées sur les niveaux piézométriques indiquent qu'il n'y a pas de développement d'une quelconque nappe au sein des Zones 3B et 3C.
- Dogleg : Les capteurs indiquent une réactivité à la pluviométrie pour les deux capteurs installés dans la fondation du dogleg et une absence de réaction pour ceux installés dans le remblai.

Les valeurs observées de niveaux piézométriques demeurent majoritairement au niveau du seuil JAUNE (voire ORANGE pour deux d'entre eux) pour la zone 1A, au niveau du seuil VERT pour les capteurs des zones 3A, 3B et enfin au niveau du seuil VERT et parfois JAUNE pour les capteurs de la zone 3C.

5.1.4.1.2 Piézométrie au sein des fondations du barrage

Depuis la fin des travaux de construction du barrage en décembre 2016, les variations de niveaux piézométriques dans la fondation du barrage sont principalement liées à la pluviométrie.

L'amplitude des variations change entre des capteurs installés dans le même forage mais à des profondeurs différentes : les variations sont moins importantes au droit des capteurs installés à proximité du tapis drainant du barrage.

Les piézomètres installés dans la fondation du barrage montrent un écoulement vertical avec une recharge de haut en bas au droit du barrage, et une réactivité aux précipitations sensiblement réduite comparée aux conditions antérieures à la construction du barrage. Aux appuis Nord et Sud du barrage, les réactions à la pluviométrie demeurent généralement plus marquées du fait de la proximité des crêtes et de l'horizon saprolitique à faible profondeur.

Les capteurs installés sous le corps du barrage présentent des pressions relativement stables sur le long terme avec des réactions normales à la pluviométrie et traduisent le comportement en conditions drainées des sols de fondation.

Les variations au niveau des appuis peuvent être très importantes et particulièrement au droit des capteurs installés en profondeur où des augmentations du niveau piézométrique de plus de dix mètres à la suite d'évènements pluviométriques importants, sont observées. Ces augmentations

sont liées au fait que ces capteurs sont situés dans l'horizon rocheux (péridotite) à proximité de l'appui qui présente une recharge (et une vidange) rapide en cas d'évènement pluvieux après un long cycle de faible pluviométrie.

Globalement, les valeurs observées actuellement sont conformes au seuil VERT.

5.1.4.1.3 Tassements

L'étude des courbes de tassements en fonction du temps met en avant la réaction directe des tassements du sol de fondation à la mise en place de nouveaux remblais et donc à l'augmentation de la charge.

Entre fin 2013 et fin 2015, il est remarqué que les tassements ralentissent du fait de la faible quantité de remblai mis en œuvre sur le barrage. Depuis 2016, à la suite de la fin des travaux de construction du barrage, les tassements observés sont très faibles en partie centrale du barrage, voire quasi nuls en se rapprochant des appuis. Certains tassements faibles observés au niveau de la crête du barrage pourraient être liés à l'augmentation de la charge à l'amont du barrage (montée du niveau des résidus) ainsi qu'à la consolidation secondaire des matériaux de fondation.

Aucun comportement spécifique de tassement n'a été observé lors de l'infiltration de fin août à mi-novembre 2022.

- De la fondation du barrage

Depuis l'installation des instruments, les tassements dans la fondation atteignent le maximum de 4,13 m au droit d'EL-06 et de 3,40 m au droit d'EL-03. De nombreux autres instruments présentent des tassements supérieurs à 2 m (SM-33, SM-34, SM-35, SM-38, SM-39, SM-41, SM-155 pour les tiges de tassement et EL-04, EL-05, EL-06A et EL-07 pour les extensomètres).

A noter que les valeurs observées restent conformes au seuil VERT identifié par le TARP.

- De la conduite

Au 07/12/2022, les tassements enregistrés sont de respectivement 3,53 m sur SM-23 depuis son installation le 05/03/2008 et de 1,46 m sur SM-25 depuis sa mise en place le 16/04/2012. Il est important de noter qu'il ne s'agit pas du tassement total de la conduite car lors de l'installation des repères de tassements, la conduite devait déjà avoir été soumise à une déformation sous la charge des matériaux mis en œuvre sur le barrage au CH650.

Le tassement total par rapport à la position d'installation de la conduite est estimé à environ 4,4 m. Depuis début 2016, les tassements de la conduite se sont stabilisés. Des inspections vidéo réalisées à l'aide d'un robot permettent de conforter les données issues des tiges de tassement. De plus, les mesures effectuées permettent d'obtenir des informations sur les zones non couvertes par les instruments, et notamment à l'amont du barrage. Ainsi, un tassement sous le pied amont et le réservoir a été observé, en lien avec le remplissage du bassin par les résidus.

- Des remblais

Sous leur propre poids, les remblais constitutifs du barrage ont présenté un tassement durant la construction. L'amplitude maximale de ces tassements mesurés atteignait plus de 2,4 m au droit de l'instrument EL-05 avant son abandon en mars 2021. Ces tassements ne présentent plus d'évolution significative depuis la fin de la construction.

L'étude des plots de suivi topographique installés sur la face aval du barrage en décembre 2018 confirme une tendance de tassement faible (de l'ordre de 2 à 3 cm en crête sur les douze derniers mois et de l'ordre de 10 à 12 cm depuis décembre 2018).

- Résiduels

Les tassements importants enregistrés par le passé étaient directement associés à la mise en place des remblais. Depuis la fin de la construction (fin 2016), les tassements sont beaucoup moins importants.

Une analyse issue des données satellitaires InSAR a également été réalisée par 3vGEOMATICS basée sur des données allant jusqu'au 30/06/2021, elle est présentée en ci-dessous.

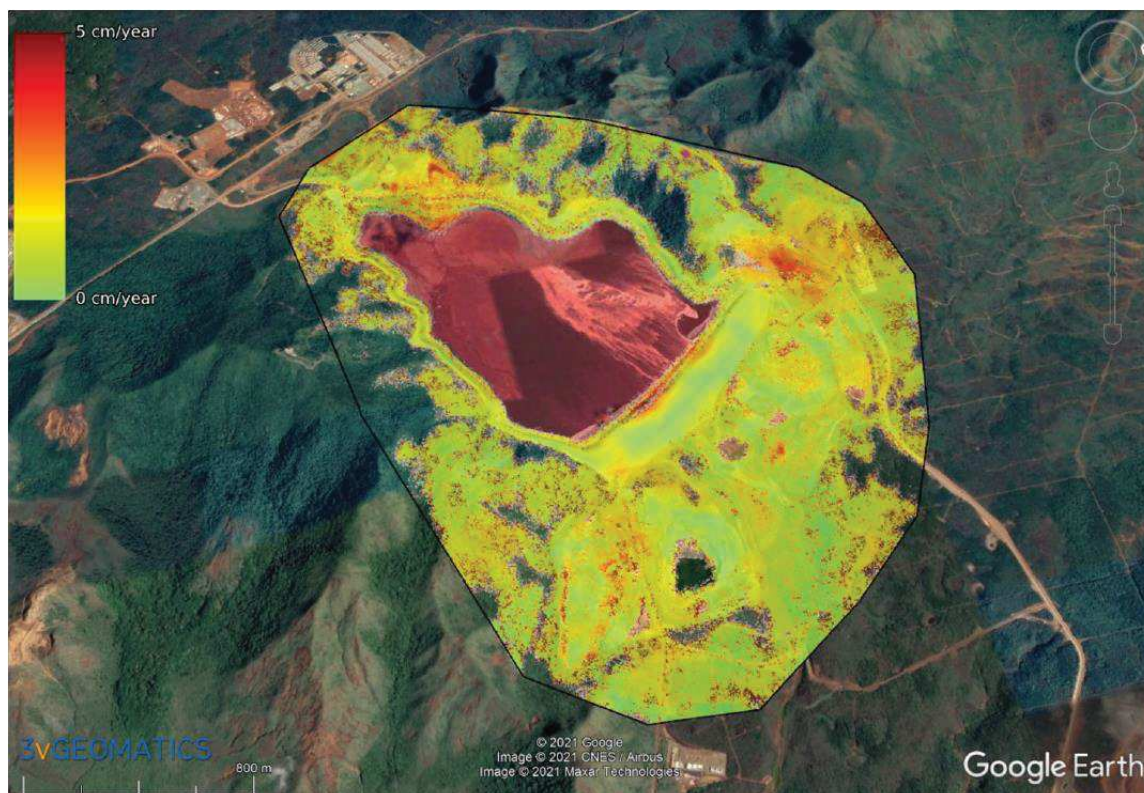


Figure 73 : Répartition des tassements sur la dernière année au 30/06/2021 [41]

Ces données ont permis de mettre en lumière les déplacements verticaux tout autour de l'aire de stockage des résidus. En particulier, les données ont fait apparaître les terrassements au niveau du chenal d'évacuation de l'évacuateur de crues et surtout elles confirment les tassements de l'ordre de 3 à 4 cm/an au niveau de la crête de l'ouvrage à fin juin 2021.

5.1.4.1.4 Déplacements horizontaux

De manière générale, un fluage latéral vers l'aval des formations latéritiques de la fondation situées à l'aval de l'axe du barrage, a été observé pendant la construction. Depuis mi-2013, un ralentissement des déplacements horizontaux (accentué depuis 2015) a été observé en raison des plus faibles quantités, puis de l'arrêt, de l'ajout de remblai sur le barrage au droit des instruments.

Ainsi, depuis 2016, les déplacements horizontaux mesurés sont très faibles voire inférieurs à la précision des instruments. Les valeurs de déplacement horizontaux maximum dans la fondation ne dépassent pas les valeurs fixées par le seuil VERT du TARP.

Aucun comportement spécifique de déformation horizontale n'a été observé lors de la fuite de fin août à mi-novembre 2022.

Les nouveaux instruments SAAV installés en crête (SAA-01) et en pied du barrage (SAA-02 et SAA-03) présentent une déformation millimétrique depuis leurs installations en mai 2022

5.1.4.1.5 Débits et qualité des eaux

5.1.4.1.5.1 Drains de pied

Les débits des drains de pied du barrage correspondent aux débits collectés par le tapis drainant (dont ceux issus de la cheminée drainante) mais également aux débits provenant du bassin versant constitué par la face aval du barrage. Une très forte relation entre ces débits et la pluviométrie enregistrée sur site est observée, avec des valeurs de débits instantanées pouvant atteindre plus de 500 m³/h lors d'épisode pluvieux très intenses. Jusqu'à l'évènement décrit au § 5.1.4.1.6 (infiltration au travers du barrage entre fin août et mi-novembre 2022), aucune tendance globale à l'augmentation des débits (autre que les variations saisonnières) n'avait été notée lors du développement d'une nappe dans la Zone 1A du barrage.

Jusqu'en août 2022, en termes de qualité, après une tendance nette à l'augmentation de la conductivité entre 2010 et 2018, au niveau du seuil 4R9 et dans une moindre mesure sur 4R8 (pas d'augmentation sur 4R7), les valeurs semblaient se stabiliser.

Entre fin août et fin décembre 2022, une très nette augmentation de la conductivité est notée sur 4R8 et 4R9 (avec un décalage d'environ deux jours). Cette augmentation est également associée à une augmentation des débits sur ces deux mêmes drains de pied avant une chute brutale des débits le 15/11/2022. Les MES ne présentent que des variations ponctuelles inférieures à 20 mg/l sur

cette même période sur ces deux drains. Le drain 4R7 quant à lui, continu de fournir des données similaires aux variations saisonnières (débit, conductivité et MES).

Les seuils sur les débits, la conductivité et les MES du drain de pied 4R7 demeurent VERT durant tout le trimestre 4T2022. Concernant les drains 4R8 et 4R9, entre fin août et mi-novembre 2022, les seuils sur les débits atteignent le niveau ORANGE avant de repasser au VERT et de reprendre une réaction « normale » aux événements pluvieux. En ce qui concerne la conductivité, les seuils sur la conductivité atteignent le niveau ROUGE entre fin août et fin décembre 2022 avant de repasser au niveau VERT en toute fin de mois de décembre 2022. Le seuil sur les MES demeurent VERT durant le 4T2022 malgré plusieurs valeurs ponctuelles entre 5 et 20 mg/l entre fin août et fin novembre 2022.

Les ordres de grandeur des conductivités observés dans les drains 4R8 et 4R9 entre fin août et mi-novembre 2022 indiquent clairement qu'un chemin hydraulique semble s'être ouvert depuis l'intérieur du parc (surnageant) pour ressortir au pied du barrage. Après diverses investigations (essais de traçage, inspection par caméra, par plongeur...) un trou dans la géomembrane – juste au-dessus du toit des résidus – a été découvert sur la face amont du barrage, ce trou engendrant un écoulement important du surnageant vers l'aval du barrage. Il s'agit vraisemblablement donc bien d'un mécanisme correspondant à une fuite au travers de la géomembrane, puis un écoulement rapide au travers de la zone 1A, écoulement ensuite capté par la cheminée drainante et enfin le tapis drainant pour ressortir (au moins partiellement) dans le drain de pied du barrage. Il est également probable qu'une partie des écoulements ait eu lieu également sous le tapis drainant au sein des formations plus perméables de la fondation du barrage sans être captées par les drains de pied comme l'indique les augmentations de niveau piézométriques observées sur les capteurs situés sous le tapis drainant, voire une connexion avec les sources WK17 et WK20. Les faibles valeurs de MES (ou non détectables) indiquent néanmoins qu'il n'y a pas eu de déplacements importants de fines de l'amont vers l'aval. Divers travaux ont été mis en œuvre par PRNC pour traiter cet écoulement et le trou a été comblé le 15/11/2022 (réduction brutale des écoulements au niveau du pied aval ce jour-là avant de retrouver des valeurs d'écoulements (débits et conductivité) sensiblement similaire à avant l'évènement entre mi-novembre (débits) et fin décembre (conductivité))..

5.1.4.1.5.2 Système de drainage sous la géomembrane

Le système de drainage sous la géomembrane est découpé en quatre baies chacune connectée à une conduite.

Les éléments suivants sont observés :

- ➔ La conduite 1 (Baie 1) collecte les eaux de la zone Sud immédiatement à l'amont du barrage. Il est observé que les fluctuations des débits sont peu marquées avec néanmoins une légère

réaction lors des saisons humides. Les seuils sur les débits et la conductivité demeurent VERT durant tout le trimestre 4T2022 sur la conduite 1.

- ➔ La conduite 2 (Baie 2), la plus étendue, correspond à la zone de captage amont du réservoir. Les débits mesurés augmentent très rapidement après un épisode pluvieux. Le phénomène de dilution est assez important avec toute augmentation du débit qui engendre une baisse de la conductivité et vice-versa. Une contamination liée au surnageant dont l'origine géographique (dans le bassin) n'a pas pu être déterminée, a été identifiée. Le seuil de conductivité demeure VERT durant les mois d'octobre et novembre et passe au JAUNE au début du mois de décembre avant de repasser au VERT dans la seconde moitié du mois de décembre 2022. Le seuil sur les débits demeure VERT durant tout le trimestre 4T2022.
- ➔ La conduite 3 (Baie 3) collecte les eaux d'une grande superficie de géomembrane en fond de réservoir et sur le flanc Nord du réservoir. Cette zone de bassin versant semble donner lieu à de nombreuses circulations souterraines qui ont, par le passé, difficilement été captables par le réseau de drainage de cette zone. Les seuils sur les débits et la conductivité demeurent VERT durant le trimestre 4T2022.
- ➔ La conduite 4 (Baie 4) captant les eaux de la zone Nord immédiatement à l'amont du barrage présente généralement les débits les plus faibles et de faibles fluctuations. Le phénomène de dilution est toujours présent sur cette conduite avec une baisse de la conductivité lorsque le débit augmente. Les valeurs de conductivité semblent se stabiliser autour de 7 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ depuis début 2022 (hors phénomènes de dilution suite aux précipitations), avec néanmoins une augmentation sensible jusqu'à plus de 9 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ courant décembre 2022. Le seuil sur la conductivité atteint le niveau ORANGE durant les mois de novembre et décembre 2022, alors que le seuil sur les débits atteint le niveau JAUNE en octobre et novembre, avant de redescendre au niveau VERT en décembre 2022..

Conformément au rapport de conception du barrage (rapport Golder 1250-03639030 rev1), chacune des quatre (4) conduites a été dimensionnée pour un écoulement gravitaire de 125 l/s (soit 450 m³/h). Ces valeurs ont déjà été ponctuellement dépassées sur les Baies 2 et 3 lors d'épisodes pluvieux particulièrement intenses (notamment en février 2017, mai 2021 et mars 2022), ce qui indiquait alors un écoulement ponctuellement en charge dans ces conduites lors de ces événements.

En termes de qualité, entre 2013 et 2017, une tendance globale à l'augmentation de la conductivité au niveau des quatre (4) conduites, est observée. Depuis 2018 cette tendance semble se stabiliser malgré les fluctuations saisonnières. Néanmoins, il n'a pas été noté de tendance à l'augmentation

des débits ou de la conductivité lors de l'augmentation du niveau piézométrique notée dans la Zone 1A du barrage ou lors de l'infiltration observée entre fin août et mi-novembre 2022.

Lors de la vidéo inspection de fin novembre 2017 (objet du rapport 167187-098-R-Rev0 du 28/12/2017), les conduites 3 et 4 n'ont pas pu être inspectées du fait de la présence de résidus sur 40 à 60% de la capacité du drain au niveau de la bride de visite. Des opérations de curage ont été réalisées fin 2018 et début 2020 sur ces deux conduites, mais se sont révélées insuffisantes lors des nouvelles tentatives d'inspection, le 23/11/2018 et 06/02/2020. En mai 2021 des nouveaux travaux de curage ont eu lieu sur les conduites 3 et 4, et l'inspection du 28/05/2021 (objet du rapport 167187-458-R-Rev0 du 02/07/2021) a permis d'atteindre respectivement 390 m, 400 m et 403m sur les conduites 1, 2 et 3, et confirme toujours l'intégrité de ces trois (3) conduites. Seuls 147 m de longueur sur la conduite 4 ont pu être inspectés du fait de la présence de résidus au sein de cette conduite. La partie observée de la conduite 4 confirme son intégrité et l'obstruction partielle est également confirmée par les écoulements observés. Un nouveau curage a eu lieu début octobre 2021 sur 400m de distance, mais n'a pas permis le passage du robot d'inspection au-delà de 110 m depuis le point d'entrée (absence totale de visibilité dans la conduite et perte de motricité du robot). Un nouveau curage a eu lieu entre le 20/02/2023 et le 24/02/2023 sur les quatre conduites sur une distance de 400 m, une vidéo inspection doit néanmoins encore avoir lieu pour confirmer l'accessibilité du robot sur l'intégralité des quatre conduites.

5.1.4.1.5.3 Sources à l'aval WK17 et WK20

A noter que les variations de débit et de conductivité au niveau des sources WK17 et WK20 sont suivies depuis le mois de janvier 2011. Le matériel d'instrumentation permettant le suivi des sources WK17 et WK20 a été désinstallé début septembre 2021 du fait des travaux de terrassements Lucy sur la zone. Le suivi en continu des deux sources est de ce fait suspendu pendant la durée des travaux.

Pendant la période d'analyse des données, il est possible de noter :

- ➔ Au niveau de WK17 : une augmentation de la conductivité est observée depuis 2012. Cette augmentation a été particulièrement importante entre mars 2016 et fin 2017. La conductivité, issue des analyses in situ, devient alors relativement stable (entre 1 800 et 2 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en fonction des variations saisonnières) et ce jusqu'à fin septembre 2022. Depuis cette date, correspondant donc à la période où des circulations ont eu lieu entre le parc à résidus et les drains de pied aval, une très forte augmentation de la conductivité est observée sur WK17 avec des valeurs variant de 3 000 à 3 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le seuil de conductivité ORANGE ($>2500 \mu\text{S}/\text{cm}$) est atteint lors de ce 4T2022 sur WK17 (seuil JAUNE en continu depuis fin 2013 jusqu'alors) ;

- ➔ Au niveau de WK20 : une conductivité en augmentation faible entre 2011 et mars 2015 et des augmentations très marquées sur les périodes mai 2015 à février 2016, juin à novembre 2016 et juillet à décembre 2017, sont observées. Les valeurs sont de l'ordre de 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au début de l'année 2011 ; le maximum atteint est de 1 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 14/12/2017 au cours d'une période particulièrement sèche. Depuis, la conductivité se maintient entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec des pics à près de 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lors des saisons sèches. Le seuil de conductivité JAUNE ($>150 \mu\text{S}/\text{cm}$) est atteint de façon continue depuis mi-2015.

5.1.4.1.5.4 Piézomètres à l'aval de l'ouvrage

Les niveaux d'eau de certains piézomètres situés à l'aval du barrage sont également étudiés afin d'identifier l'impact potentiel de ce dernier sur les conditions hydrogéologiques du site.

Avec le démarrage des travaux de terrassement du projet Lucy, les piézomètres suivis historiquement ont été déclassés en août 2019, le suivi a alors cessé et les instruments ont été démobilisés. A la suite de la mise en attente du projet Lucy, les principaux piézomètres de référence encore actifs ont été équipés à nouveau dans le courant de l'année 2020. Les travaux de terrassement du projet Lucy ont repris et les instruments installés dans les piézomètres de suivi ont été majoritairement démobilisés à nouveau, début septembre 2021. Seize piézomètres ouverts présents sur la zone d'emprise des travaux de terrassements Lucy ont été déséquipés de leur instrumentation puis cimentés, entre fin novembre 2021 et fin mars 2022.

L'étude des niveaux piézométriques met en avant un temps de réaction très rapide des aquifères à la suite d'épisodes de précipitations, mais également l'inverse. En effet, les niveaux baissent immédiatement et de manière significative lors de périodes durant lesquelles il ne pleut pas. Les phénomènes de drainance et d'alimentation sont donc tous deux très marqués. Ceci confirme le comportement en conditions drainées des sols de fondation à l'aval de l'ouvrage.

Les piézomètres captent principalement deux types de nappe :

- ➔ La nappe des latérites (aquitard) ; les latérites se situant en dessous de la cuirasse. Celles-ci ont une porosité élevée qui contribue au caractère capacitif du système. Cette couche réservoir tamponne l'alimentation des horizons sous-jacents.
- ➔ La nappe des saprolites (aquifère) ; les saprolites sont le siège de la nappe la plus importante en termes de flux d'eau. Cette dernière est généralement semi-captive.

De manière générale, on peut dire que les niveaux piézométriques à l'aval du barrage, semblent globalement stables avec une légère tendance à la baisse sur le long terme.

Les données issues des analyses chimiques disponibles montrent, quant à elles, une nette augmentation des conductivités entre début 2016 et fin 2017. Cette augmentation est

particulièrement visible sur WKBH102 et WKBH103. Ces deux piézomètres sont situés près de la source WK17 (dans l'axe du CH500). WKBH103 présente des conductivités comparables aux mesures réalisées dans les eaux de la source WK17. Depuis 2018, la conductivité de WKBH102 semble présenter des variations saisonnières avec des valeurs allant de 700 à 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période de hautes eaux et entre 1 300 et 2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période de basses eaux.

WKBH110, situé à proximité de la source WK20 présentait une conductivité relativement stable autour de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre mars 2018 et juillet 2019. Entre février 2020 et octobre 2021, les valeurs se situent entre 400 et 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

WKBH113, plus éloigné du parc ne semblait pas impacté par l'augmentation de la conductivité. La conductivité mesurée dans ce piézomètre restait inférieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lors des dernières mesures disponibles (juillet 2019). Depuis ce piézomètre a été bouché lors des travaux de préparation du projet Lucy.

Comme indiqué lors des modélisations hydrogéologiques réalisées lors de la conception, un panache de contamination lié à l'exploitation du parc à résidus est en cours de développement en direction de l'aval de l'ouvrage.

5.1.4.1.6 Infiltration au travers du barrage (fin-août à mi-novembre 2022)

Entre mi-août et mi-novembre 2022, une très nette augmentation de la conductivité a été notée sur les drains de pied 4R8 et 4R9 (drain sud et central – cf. Figure 74). Cette augmentation a également été associée à une augmentation des débits sur ces deux mêmes drains de pied, avant qu'une chute brutale des débits soit observée le 15/11/2022 (cf. Figure 75). Cette augmentation fait suite à un épisode pluvieux intense (243 mm en 48h, le 16/08/22 et 17/08/22) ayant généré une augmentation de 40 cm du niveau d'eau dans le bassin de stockage, ainsi qu'à un séisme de magnitude 6.1 ressenti sur site le 15/08/2022. Durant cette période, la qualité des eaux observée au niveau des drains de pied est alors similaire à celle présente au-dessus du toit des résidus dans le bassin de stockage. La turbidité de l'eau dans les drains de pied est, quant à elle, restée faible, sans trace visible de déplacement de fines dans les drains 4R8 et 4R9.

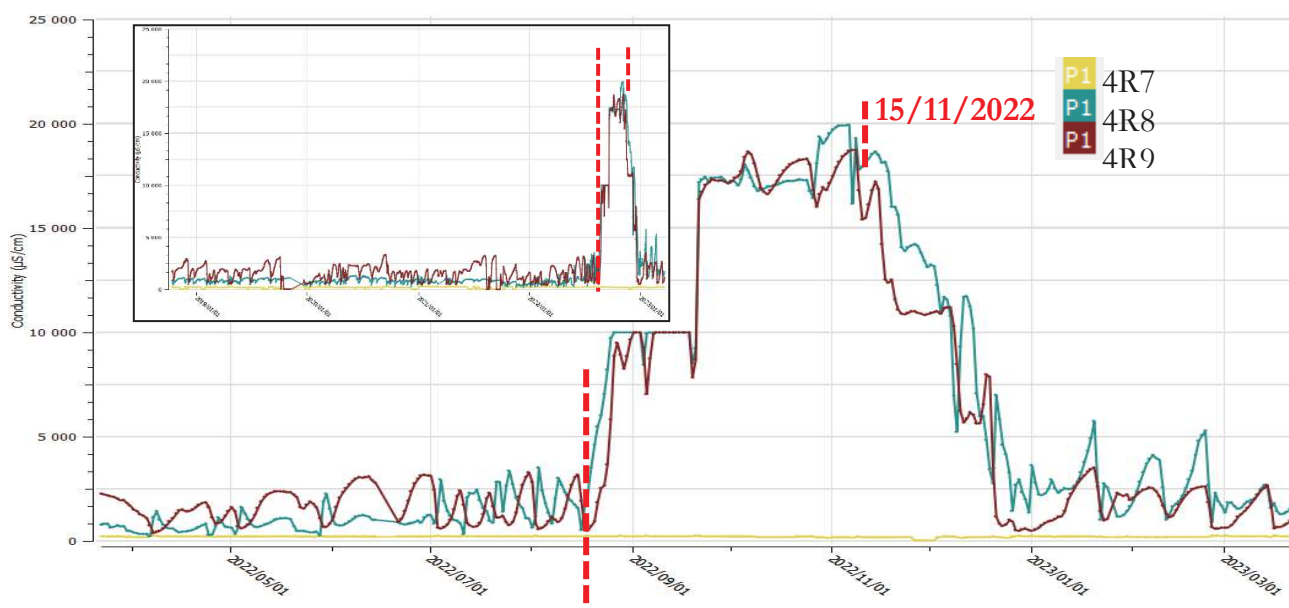


Figure 74 : Conductivité dans les drains 4R7 à 4R8 sur 1 an et depuis 2019 (source GEOSCOPE)

Les paliers limités à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, au moment du début de la fuite, sont liés à une limite du matériel d'enregistrement en continu dont la capacité de mesure a ensuite été augmentée.

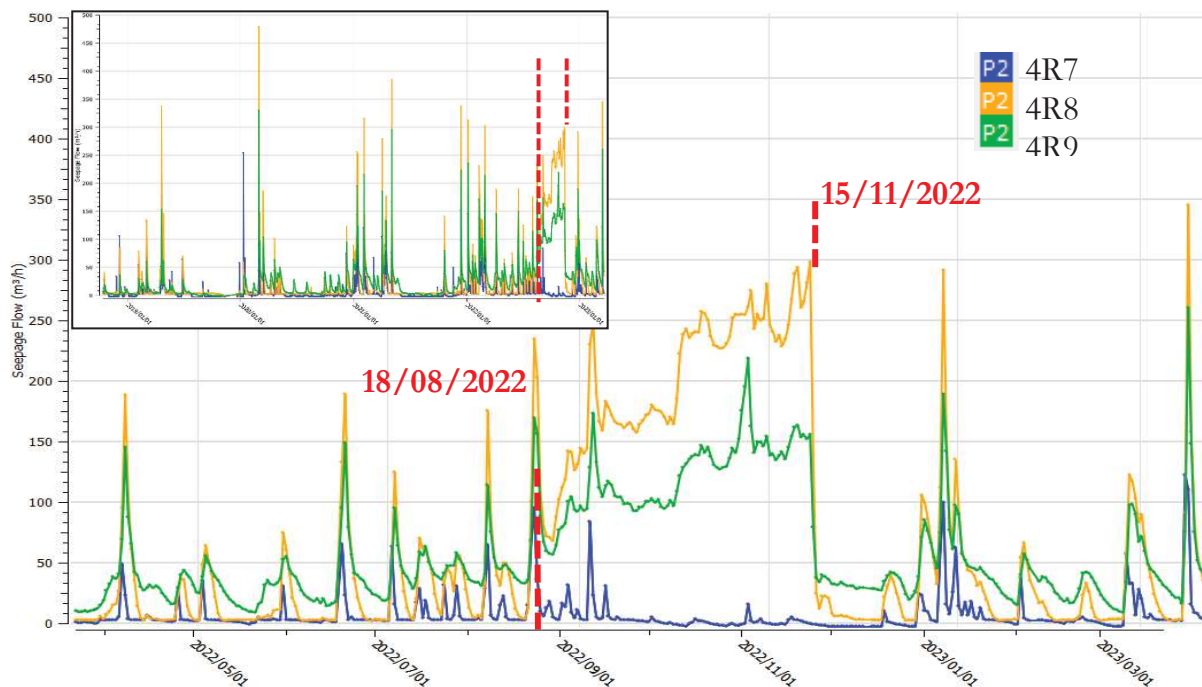


Figure 75 : Débits dans les drains 4R7 à 4R9 sur 1 an et depuis 2019 (source GEOSCOPE)

5.1.4.1.6.1 Paramètres d'auscultation du barrage

Certains capteurs situés dans la fondation mais à proximité du tapis drainant ont présentés durant la période d'infiltration, une augmentation de niveau piézométrique (cf. Figure 76), indiquant qu'une partie réduite du flux circulait en partie supérieure de la fondation.

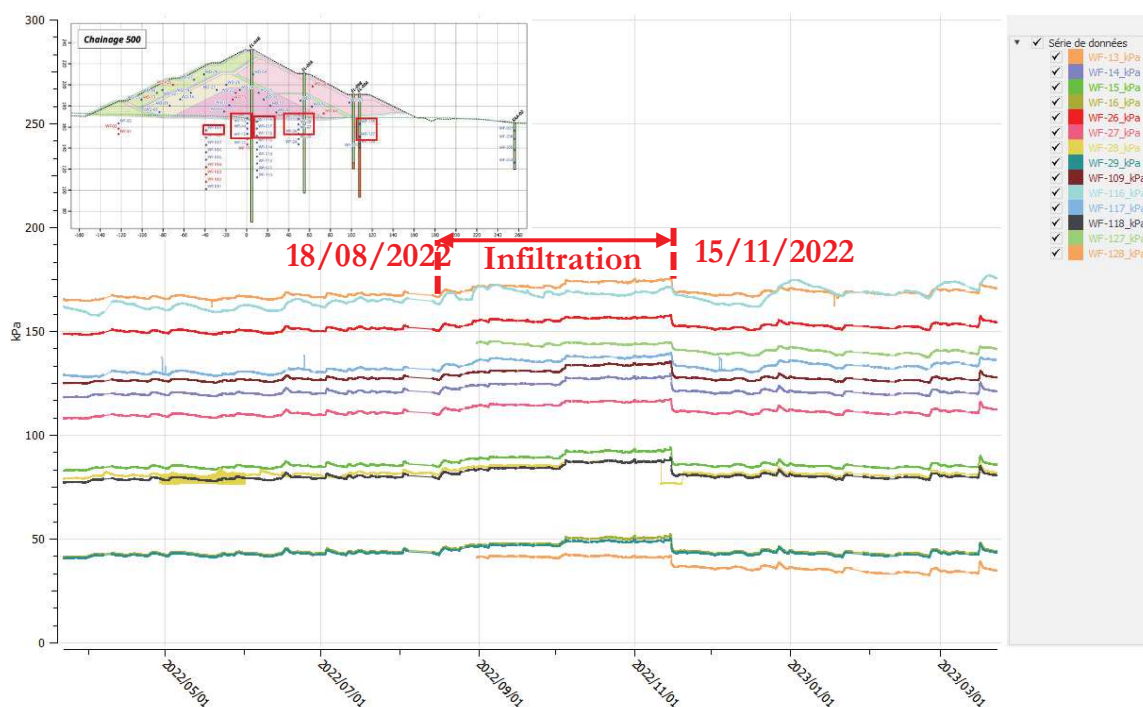


Figure 76 : Variation de pression des capteurs de la fondation ayant présentés une augmentation lors de la période d'infiltration (source GEOSCOPE)

Les données des niveaux piézométriques au sein de la Zone 1A du barrage ont été contrôlées et ne font pas apparaître de changement spécifique de comportement sur cette même période (cf. Figure 77).

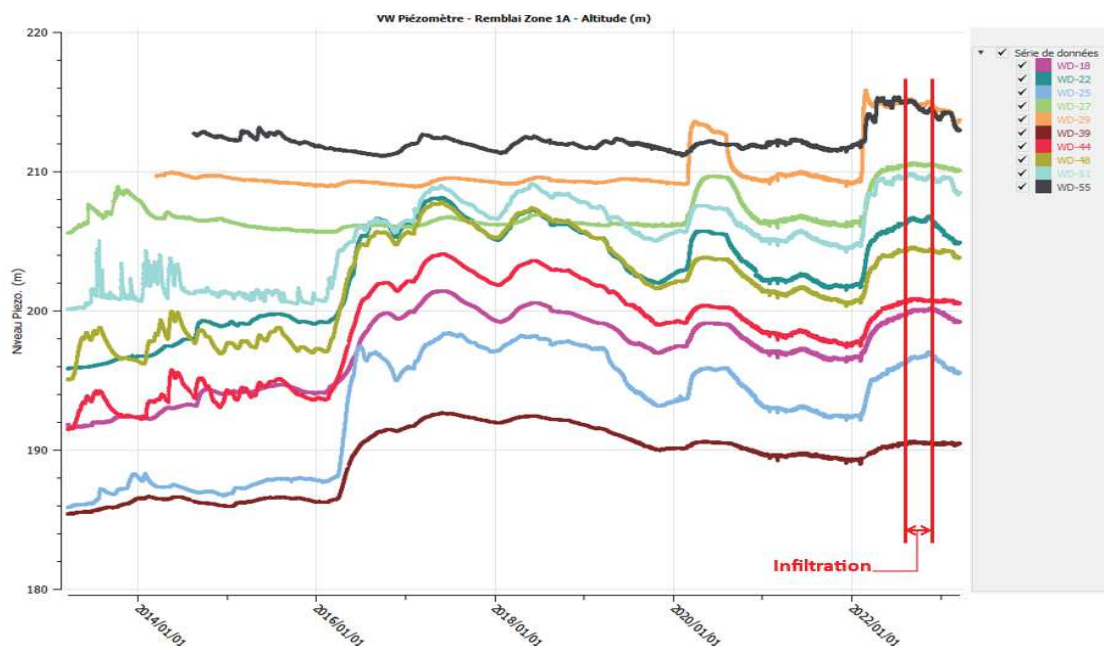


Figure 77 : Variation des niveaux piézométriques dans la Zone 1A sur 10 ans (source GEOSCOPE)

La zone 3A directement à l'aval de la cheminée drainante ne fait pas apparaître non plus de comportement spécifique durant cette période (cf. Figure 78).

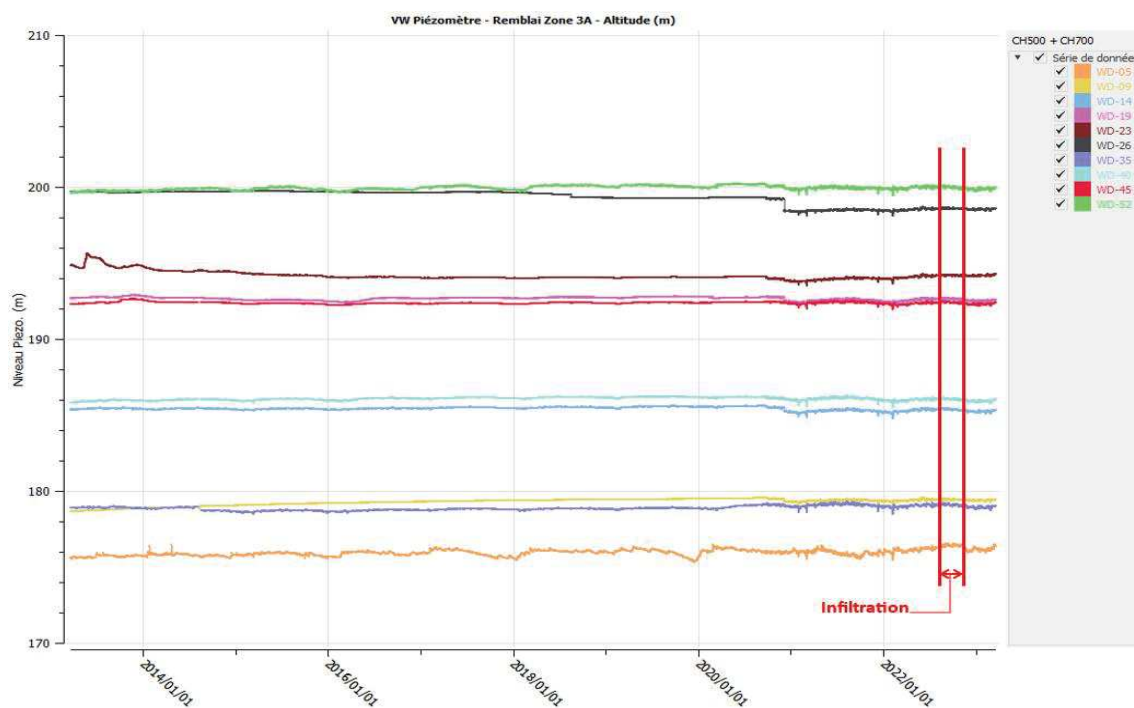


Figure 78 : Variation des niveaux piézométriques dans la Zone 3A sur 10 ans (source GEOSCOPE)

Seul le capteur WD-05, situé à quelques mètres en aval de la cheminée drainante, présente un comportement différent et réagit de façon similaire aux capteurs situés dans la fondation, proche du tapis drainant.

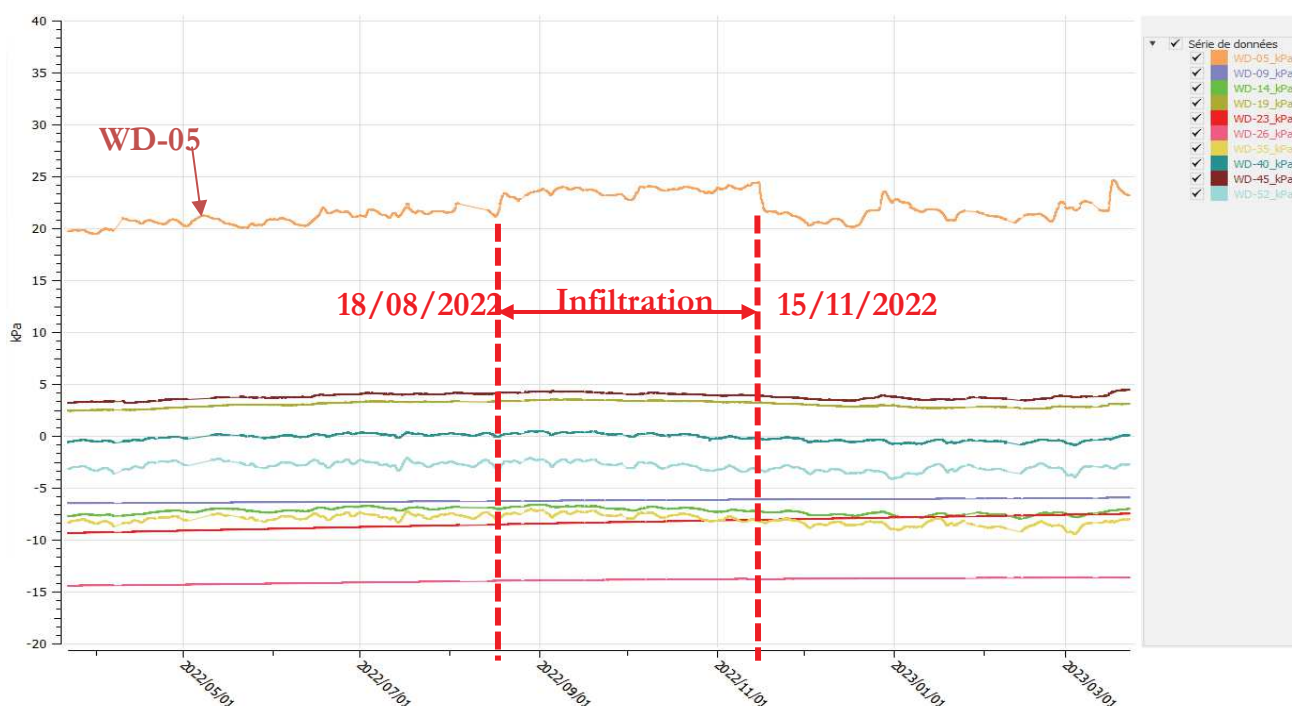


Figure 79 : Variation de pression dans la Zone 3A sur 1 an (source GEOSCOPE)

Un impact sur la source WK17 (et dans une moindre mesure WK20) a également été noté avec un décalage d'environ 40 jours par rapport aux réactions des drains de pied.

L'analyse spécifique des données d'auscultation indique alors que :

- Les déformations mesurées sont conformes aux performances attendues (absence d'évolution durant l'infiltration) ;
- En termes de piézométrie, le barrage fonctionne conformément à sa conception. Autrement dit aucune accumulation excessive de pression interstitielle n'est observée en son sein.

Des travaux ont été mis en œuvre immédiatement pour limiter l'impact des écoulements avec en particulier l'augmentation de la capacité de pompage à l'aval du barrage afin de pouvoir collecter l'ensemble des flux provenant des drains de pied et les renvoyer vers le bassin de stockage. La capacité est ainsi passée de 17 m³/h à 720 m³/h.

5.1.4.1.6.2 Investigations

Diverses méthodes d'investigations ont été utilisées pour identifier l'origine de la contamination (profils de conductivité, aspiration mécanique d'un cadre rigide, drone sous-marin avec caméra, inspection à l'aide d'une caméra GoPro, doppler acoustique, débitmètres, essai de traçage...). La zone d'origine de l'infiltration a été repérée lors d'une inspection par palpation (visibilité quasi-

nulle dans le bassin) réalisée par un scaphandrier (cf. Figure 80). Cette dernière a ainsi été localisée à une profondeur de 7 m sous le niveau du surnageant (proche du toit des résidus), au niveau du chainage 390 du barrage. Les coordonnées de la zone sont les suivantes : X : 495413 ; Y : 210413 ; Z : entre 211 et 212 m NGNC. Il s'agit donc d'une zone où la géomembrane est directement au contact de la Zone 1A sans géotextile intermédiaire.



Figure 80 : Inspection sous-marine de l'ensemble de la face amont du barrage par un scaphandrier depuis la banquette RL220m (source PRNC)

La stratégie développée par PRNC et l'ingénieur désigné / Engineer of Record a été de mettre en place le plus rapidement possible des résidus (faible perméabilité) contre la face amont du barrage afin de colmater la zone d'infiltration et prévenir l'apparition de nouvelles infiltrations.

5.1.4.1.6.3 Hypothèses et causes de l'infiltration

L'écoulement rapide au travers de la zone 1A indique qu'un chenal de « piping » d'environ 10 cm de diamètre (calculé à partir des débits de fuite observés) s'est ouvert au sein de cette zone du barrage qui était censé être de faible perméabilité. Un trou de dimensions plus importantes de l'ordre de 2 m x 2 m s'est formé au niveau de la face amont du barrage. Les matériaux qui ont été érodés de la face amont du barrage l'ont vraisemblablement été au travers du chemin hydraulique créé. Le volume de matériaux érodés serait de moins de 3 m³ (environ 6 tonnes). L'infiltration a été probablement captée par la cheminée drainante (au travers du géotextile filtrant). Il est également possible que l'écoulement demeure à l'amont du géotextile filtrant, à l'interface entre la Zone 1A et la cheminée drainante. La cheminée drainante est ensuite connectée directement au tapis drainant puis aux drains de pied. Une partie du flux semble néanmoins passer également au travers des horizons plus perméable de la fondation au niveau de la face inférieure du tapis drainant (cf. Figure 81).

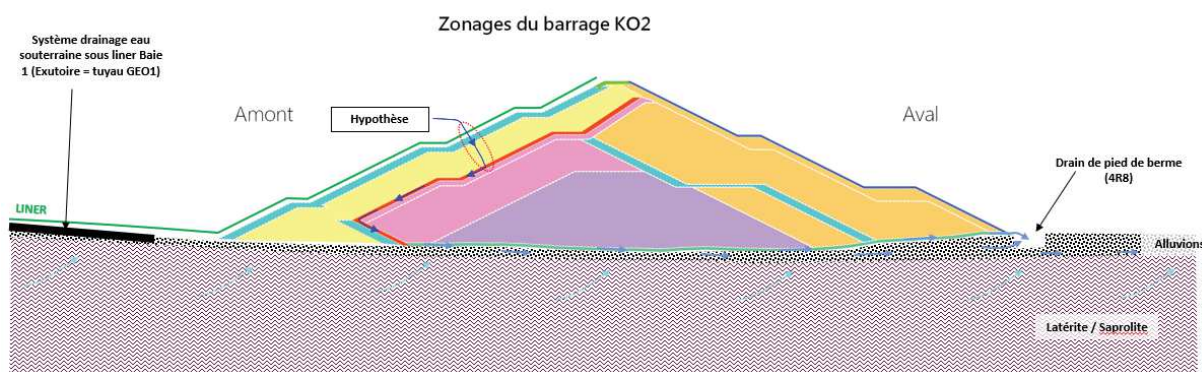


Figure 81 : Hypothèse du mécanisme d'infiltration (source PRNC)

En considérant un écoulement d'environ 300 m³/h pendant une période de 3 mois, cela correspondrait à une perte de matériau de l'ordre de 9 mg/l. Le système de drainage interne (cheminée et tapis drainants) présente une porosité importante et la quantité de matériaux transportée n'aurait qu'un très faible effet en termes de colmatage du système de drainage interne. Au niveau des drains de pied, les données d'auscultation enregistrées après le colmatage de l'infiltration, indiquent que le système continue de réagir et fonctionner de façon similaire à avant l'infiltration.

Les causes ayant permis un écoulement au travers de la Zone 1A ne sont pas clairement établies. Toutefois, différentes hypothèses non exhaustives, peuvent être retenues :

- ➔ Déchirure de la géomembrane d'origine anthropique ou non, avec une charge hydraulique importante côté bassin, associé à : un défaut non identifié lors de l'installation ou lors des inspections ultérieures, choc passé avec un objet (bateau, ancre ou autres), objet flottant entre deux eaux (flotteur de l'ancienne ligne de déposition sud par exemple), ou encore poinçonnement par un bloc au sein de la couche de Zone 1A...
- ➔ Mauvais compactage d'une zone spécifique d'une couche de matériau 1A n'ayant pas été identifiée par le système de contrôle QAQC durant la construction. Pas de non-conformité spécifiquement identifiée lors de la construction dans la zone d'infiltration.
- ➔ Mauvais compactage au niveau de la base d'une couche de latérite de 50 cm d'épaisseur, alors que les essais de densité et de cisaillement n'avaient lieu que respectivement sur les 20 et 30 premiers centimètres depuis la surface de la couche.
- ➔ Tassement différentiel au niveau du contact entre la péridotite affleurante au niveau de la fondation et les latérites argilo-graveleuses in situ, ayant ouvert une zone de faiblesse au sein des latérites de la zone 1A.

5.1.5 Bilan d'état de l'ouvrage

Le rapport de revue de sûreté du Parc à résidus de la Kwé Ouest réalisé par Tractebel et datant du 21 octobre 2016 ainsi que le rapport de la dernière visite technique approfondie ont été pris comme principales références pour le bilan d'état de la présente section.

Les constatations faites à partir des données du système d'auscultation sont développées dans la section 5.1.4.1 précédentes.

Les dégradations et actions ou améliorations majeures survenues depuis la mise en service de l'ouvrage sont récapitulées dans le Tableau 56 suivant.

Les dégradations et améliorations constatées durant l'examen technique complet de 2016 (ETC 2016) et durant les 6 dernières visites techniques de 2017 (VTA 2017), de 2018 (VTA 2018), de 2019 (VTA 2019), de 2020 (VTA 2020), de 2021 (VTA 2021) et de 2022 (VTA 2022) sont présentées dans le Tableau 57.

Le parc à résidus KO2 a été jugé dans un état général satisfaisant et l'ensemble des ouvrages bien entretenu.

Les dégradations et les améliorations constatées serviront de base de connaissance dans l'analyse de risque de la présente étude des dangers, en Partie 8 « Identification et caractérisation des risques liés à la réalisation du projet en termes de probabilité d'occurrence, d'intensité, de cinétique des effets et de gravité des conséquences ».

Tableau 56: Listes des dégradations et améliorations associées constatées sur l'ouvrage depuis la mise en service

Date	Dégradations	Actions / Améliorations
2010	Alors que le barrage atteignait une hauteur de 39 m, il a été constaté un tassement du barrage et de sa fondation d'environ 10% (3,9 m).	Une réactualisation de l'étude de stabilité a été réalisée et conclue à une stabilisation du tassement avec un tassement final d'environ 5 m.
2011	Infiltration de résidus sous la géomembrane en fond de bassin lors du cyclone Vania (la géomembrane était alors en cours de mise en place, et n'était donc pas correctement maintenue).	Maintien de la géomembrane par mise en place de ballasts tubes.
2015	Suite à de fortes précipitations, apparition de résurgences à différents endroits sur les talus de l'aire de stockage du parc à résidus entraînant une érosion de la limonite en sous-face de la géomembrane et un décollement voire un arrachement de la géomembrane.	Etudes du phénomène et mise en place d'un système de drainage supplémentaire sur les talus (stations de décharge et drains horizontaux sur les banquettes 220 nord et 206,5 sud).
2015	Décollement des tuyaux de décharge des talus.	Inspection par plongeurs. Remplissage béton des tuyaux inférieurs et mise en place de ballast de maintien sur les tuyaux supérieurs.
Constat en 2014-2015 (phénomène progressif)	Déformation des 4 conduites PEHD récupérant les eaux de drainages en sous-face de la géomembrane.	Etude concluant à une déformation des conduites au-delà du seuil d'élasticité mais en deçà du seuil de rupture pour la partie des conduites traversant le barrage. Recommandations effectuées dans le rapport de l'ETC 2016 :

Date	Dégradations	Actions / Améliorations
		<ul style="list-style-type: none"> • Etudes complémentaires pour évaluer l'impact des tassements sur la partie des conduites sous le barrage mais également dans le réservoir ainsi que l'impact possible en cas de rupture ; • Réalisation d'inspections vidéo régulièrement (tous les 2 ans à minima durant la période d'exploitation et à définir lors de la fermeture).
Lors de fortes pluies	Fort ruissellement et ravinement dans la zone du Nothofagus.	Etudes et travaux en cours pour canaliser les écoulements dans un bassin étanche et les renvoyer dans le futur réseau de drainage des eaux de ruissellements en crête du réservoir.
Lors de fortes pluies	Fort ruissellement et ravinement en provenance de la « cascade » en rive droite du barrage.	Etudes et travaux réalisés pour canaliser les eaux de la cascade vers la conduite de drainage en pied des talus au niveau des banquettes nord 220 et sud 206,5.
Lors de fortes pluies	Fort ruissellement sur le pied aval du barrage entrainant des ravinements avec un point sensible en rive droite où les eaux s'écoulent en pied aval du dog leg.	-
Février 2018	Incendie de la salle électrique et panne de la pompe de secours chargée d'assurer le pompage du puits de pompage aval en cas de perte d'alimentation électrique	Reconstruction d'une salle provisoire, puis d'une salle électrique définitive en aval du barrage.

Date	Dégradations	Actions / Améliorations
Mars 2018	Débordement et rejet à l'environnement via le décanteur aval des eaux issues du système de drainage sous la géomembrane du parc à résidus.	<ul style="list-style-type: none"> ● Redondance des sondes de mesure de niveau haut, ● Modifications du système de pompage, ● Mise en place de système d'alerte (envoi de message automatique).
Août 2022	Déchirure dans la géomembrane de la face amont du barrage qui a entraîné une infiltration importante de surnageant au travers de la zone 1A, captée ensuite par la cheminée drainante et convoyée majoritairement par le tapis drainant jusqu'aux drains de pied 4R8 et 4R9.	<ul style="list-style-type: none"> ● Réaliser les travaux d'étanchéification afin de réduire les fuites anormales constatées depuis août 2022. ● De mi-octobre à décembre 2022, divers travaux ont été mis en œuvre par PRNC pour colmater la déchirure (mise en place de coussins en géotextile remplies de résidus secs et déposition mécanique des résidus secs contre la face amont du barrage)

Tableau 57: Dégradations et améliorations constatées dans l'ETC 2016, la VTA 2017, la VTA 2018 et la VTA 2019

Evolution des dégradations/défauts et amélioration dans le temps (par source)							
Ouvrage	ETC 2016	VTA 2017	VTA 2018	VTA 2019	VTA 2020	VTA 2021	VTA 2022
Cote de remplissage de l'aire de stockage	204,4 m	210 m	211,12 m		214,5 m	215,5 m	218,8 m
Crête du barrage	Fissurations superficielles et érosion préférentielles de la limonite car crête en cours de finalisation.	Pas de défauts notifiés.	<ul style="list-style-type: none"> Merlon de crête en amont non recouvert et impacts sur le géotextile d'ancrage de la géomembrane ; Glissement de plusieurs blocs sur la géomembrane des talus en-dessous et perforations. 	<ul style="list-style-type: none"> Améliorations : Réparations des perforations ; Purge des blocs. 	<ul style="list-style-type: none"> Présence de Merlon 'chasse-roue' de part et d'autre de la crête, non recouverte en amont par la géomembrane du barrage ; Pas de défauts notifiés au niveau de piste de la crête ; Mise en place d'un chaînage régulier en 2019 afin de repérer les dégradations au niveau de la crête du barrage 	<ul style="list-style-type: none"> Formation de Merlon 'chasse-roue' de part et d'autre de la crête non recouverte en amont par la géomembrane du barrage ; Mise en place d'un chaînage régulier toujours opérationnel afin de repérer les dégradations au niveau de la crête du barrage 	<ul style="list-style-type: none"> Aucun désordre n'est apparent (absence d'ornières, d'éboulements des enrochements des merlons, de végétation, de tassement).
Dog-leg	Pas de défauts notifiés.	Merlon entre la crête du dog-leg et du talus sud du bassin présente des blocs instables risquant de perforer la géomembrane en cas de chute.	Fissure observée en rive droite sur le coursier bétonné du drain de dérivation sud.	Améliorations : <ul style="list-style-type: none"> Blocs instables notés durant la VTA 2017 purgés ; Fissures du coursier colmatées en décembre 2019. 	<ul style="list-style-type: none"> Ouverture à nouveau des fissures traitées en 2019 en pied du dog leg Fissures observées non structurales au niveau du coursier Présence de fines et d'éléments charriés par éboulement dans le fossé et le coursier Améliorations : <ul style="list-style-type: none"> Surveillance et mise en œuvre d'une instrumentation de type fissuromètre triaxial ou fissuromètre électronique dans le cas d'un élargissement important Nettoyage et curage de la zone à la suite des éboulements et charniages de matériaux et des canalisations d'évacuation 	<ul style="list-style-type: none"> Ouverture à nouveau des fissures traitées en 2019 en pied du dog leg Fissures observées non structurales au niveau du coursier Améliorations : <ul style="list-style-type: none"> Surveillance et mise en œuvre d'une instrumentation de type fissuromètre triaxial ou fissuromètre électronique dans le cas d'un élargissement important 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de défauts notifiés.
Appui du barrage en rive droite	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.		Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.
Appui du barrage en rive gauche	Les écoulements pluviaux érodent progressivement la limonite au contact de l'appui rocheux.	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.		Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.
Parement amont du barrage et banquette 220 et 206,5 à l'intérieur du parc	Banquette à la cote 206,5 m : <ul style="list-style-type: none"> Détérioration locale du ballast de la banquette ; Ravinements de la latérite, en particulier sur la rive droite, où le ballast a été détérioré ; 	Banquette à la cote 220 m : <ul style="list-style-type: none"> Ballasts détériorés ; Géotextile ouvert par endroit ; Ravinement important (surtout au sud). Amélioration : Finalisation des travaux de dérivation des eaux de	Décrochage d'un ballast tube sur le talus 220/232 au Sud ; Banquette à la cote 220 m, au sud : <ul style="list-style-type: none"> Le géotextile est dégradé et la latérite a été entraînée (dégradation du ballast). Ravinement du ballast et des blocs glissent sur la géomembrane ; 	Améliorations : <ul style="list-style-type: none"> Remplacement des ballast tubes décrochés notés à la VTA 2018 et ajout de supplémentaires sur certains secteurs exposés au vent ; 	<ul style="list-style-type: none"> Ravines importantes sur la banquette 220 Ouest et Sud Quelques zones d'érosions sur la banquette 220 en remblai Améliorations : <ul style="list-style-type: none"> Réparation des ravines banquette 220 avant la saison des pluies de 2021 Comblement des érosions et mise en œuvre d'un géotextile en protection de talus 	<ul style="list-style-type: none"> Bosse observée par l'équipe de surveillance PRNC au niveau de la surface de l'eau sous la banquette 220, 	<ul style="list-style-type: none"> Une zone d'affaissement en pied de talus est visible au-dessus de la banquette à 220, entre les chaînages 500 et 600, proche du chaînage 600. La banquette 220 a fait l'objet de travaux de reprises depuis la précédente VTA. Son état est très satisfaisant sur sa partie rive gauche.

Evolution des dégradations/défauts et amélioration dans le temps (par source)							
Ouvrage	ETC 2016	VTA 2017	VTA 2018	VTA 2019	VTA 2020	VTA 2021	VTA 2022
	<ul style="list-style-type: none"> Affaissement de la conduite sud d'amenée des pulpes à cause du ravinement. Membrane sacrificielle tendue. <p>Banquette à la cote 220 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ravinement local de la latérite (moins que banquette 206,5) ; Ballasts globalement maintenus ; Risque de chute de pierre et perforation de la géomembrane dû à la finalisation de l'appui rive droite. 	<p>ruissellement en crête, limitant ainsi le ravinement sur les banquettes et talus du bassin.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Perforation locale de la géomembrane (identifiées par l'exploitant et réparation prévue). <p>Banquette à la cote 220 m, à l'ouest :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ballasts tubes décrochés du talus Ouest ; Gonflements locaux de la géomembrane dus au vent ; Blocs tombés sur la banquette ; Légèrement ravinée. <p>Banquette à la cote 220 m, au nord :</p> <ul style="list-style-type: none"> Eboulement de blocs de la crête du bassin et dégradation ponctuelle de la géomembrane ; Gonflements de la géomembrane dus au vent. 	<ul style="list-style-type: none"> Comblement des ravines notés sur la banquette 220 lors de la VTA 2018 en novembre et décembre 2019. 			<ul style="list-style-type: none"> En rive droite, des ravines se sont reformées suite aux fortes intempéries survenues. <p>Améliorations :</p> <ul style="list-style-type: none"> Surveillance accrue de la zone localement affaissée du parement amont de la berme et programmation de travaux de confortement pour fin 2022 (recharge amont du talus). Réfection de la banquette 220 sur le parement amont de la berme (reprise des ravines).
Parement aval du barrage et banquettes 212 et 192	<ul style="list-style-type: none"> Quelques blocs instables sur l'enrochement des talus ; Blocs tombés sur les banquettes. 	Stabilité des blocs vérifiés selon VALE, pas d'intervention prévue	Pas de défauts notifiés.	Pas d'information	Pas d'information	Pas d'information	<ul style="list-style-type: none"> Le parement aval de la berme et du dogleg présente un bon état visuel.
Pied aval du barrage et fossés/drains de pied	<ul style="list-style-type: none"> Talus du fossé sud au niveau du seuil de mesure fortement érodé ; Risque de submersion du seuil de mesure des fossés central et nord car excavation non suffisante en aval du seuil ; Canalisation des eaux à améliorer au niveau du fossé central (remblai non-étanche) ; Ecoulement local au niveau du fossé sud 	<ul style="list-style-type: none"> Talus du fossé sud au niveau du seuil de mesure est fortement érodé (pas d'évolution) ; Risque de submersion du seuil de mesure des fossés central et nord car excavation non suffisante en aval du seuil ; Brides des vannes au niveau du fossé central à remplacer. Plusieurs écoulements au niveau du fossé sud entendus (non-visualisés). <p>Amélioration :</p>	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs écoulements au niveau du fossé sud ont été entendus (non-visualisés) ; Fossé sud présente des fines déposées dans le drain et dans le bac de mesure. <p>Amélioration :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le terrain naturel à l'aval du déversoir du fossé central a été excavé en 2018 afin d'abaisser le niveau et de ne pas noyer le déversoir par l'aval ; 	Protection durable du talus du drain de pied Sud à réaliser.			<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la conductivité et du débit dans un secteur du réseau de drainage de pied de la berme KO2, sur 2 drains en particulier : drain 4R8 puis au niveau du drain 4R9. Le drain 4R7 présente quant à lui un débit faible et une conductivité comme prévue dans les limites du plan de surveillance. <p>Améliorations :</p> <ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la capacité de récupération des eaux des drains de pied aval de

Evolution des dégradations/défauts et amélioration dans le temps (par source)							
Ouvrage	ETC 2016	VTa 2017	VTa 2018	VTa 2019	VTa 2020	VTa 2021	VTa 2022
	entendu (non-visualisé) ; <ul style="list-style-type: none"> Brides et boulonnerie des vannes au niveau du fossé central à remplacer. Améliorations : Chantier de rehaussement des conduites pour éviter qu'elles reposent dans les eaux de drainage du fossé central.	Boulonnerie des vannes remplacée.	<ul style="list-style-type: none"> En fossé sud : zone d'érosion notée lors de l'ETC 2016 et la VTA 2017 comblée ; Reprofilage du fil d'eau du fossé central. 				<ul style="list-style-type: none"> la berme 4R7, 4R8, 4R9 (mise en place de 2 puisards supplémentaires et système de pompage associé).
Système de drainage sous les banquettes 206,5 et 220 à l'intérieur du parc	<ul style="list-style-type: none"> Exutoire du drain nord sous les remblais de la route, rendant impossible un contrôle à minima visuel ; Turbidité des eaux de l'exutoire du drain sud ; Absence de mesure des débits, contrôle de la qualité des eaux non automatisé, impossibilité de récupérer d'éventuelles eaux contaminées, risque d'érosion des talus. 	<ul style="list-style-type: none"> Absence de mesure des débits, contrôle de la qualité des eaux non automatisé, impossibilité de récupérer d'éventuelles eaux contaminées, risque d'érosion des talus ; Bassin exutoire du drain nord présente des ravinelements sur les talus. 	Bassin exutoire du drain nord présente des ravinelements sur les talus.	Pas d'information			<ul style="list-style-type: none"> Les eaux du drain nord sont canalisées à l'aval dans une conduite qui débouche dans le bassin de décantation KWD-33. Ce bassin n'est pas revêtu et présente quelques ravinelements sur ses talus. Les eaux du drain sud débouchent à côté de l'ancien exutoire du fossé de dérivation sud. Aucun aménagement spécifique n'a été réalisé pour récolter les eaux. Seuls quelques gros enrochements ont été déversés.
Stations de décharge	Pas de défauts notifiés.	Ecoulement audible au niveau de la station 2-1 (provenance inconnue).	Pas de défauts notifiés, stations de décharge comblées par du béton.	Pas d'information			
Drain de dérivation en crête Nord du bassin et bassin Nothofagus	<ul style="list-style-type: none"> Ravinement important au droit du bassin Nothofagus qui n'est pas encore étanché ; Présence d'une doline. 	Présence une autre doline près du bassin Nothofagus. Amélioration : Comblement de celle notifiée lors de l'ETC 2016.	Quelques glissements de matériaux dans le bassin lors d'épisodes pluvieux. Amélioration : Comblement de celle notifiée lors de la VTA 2017.				<ul style="list-style-type: none"> Le fossé de dérivation est globalement en bon état visuel. Améliorations : <ul style="list-style-type: none"> Nothofagus : Des travaux ont été réalisés depuis la précédente VTA pour améliorer la récolte des eaux en pied de versant dans cette zone où se forment régulièrement des dolines. Un nouveau fossé en pied de versant a été aménagé
Drain de dérivation en crête Sud du bassin	Pas de défauts notifiés.	Fissure longitudinale du revêtement béton du drain de	<ul style="list-style-type: none"> De nouvelles fissures autour de celle réparée ; 	Amélioration : <ul style="list-style-type: none"> Réparation en décembre 2019 			<ul style="list-style-type: none"> Le fossé de dérivation (chenal et coursier) est dans l'ensemble en bon état visuel.

Evolution des dégradations/défauts et amélioration dans le temps (par source)							
Ouvrage	ETC 2016	VTa 2017	VTa 2018	VTa 2019	VTa 2020	VTa 2021	VTa 2022
		dérivation sud en amont du coursier béton.	<ul style="list-style-type: none"> Fissures verticales sur le coursier béton avec bajoyer et une fissure inclinée sur le bajoyer rive gauche ; Ravinement important du talus du fossé sud en pied aval près du déversoir. <p>Amélioration : Réparation de la fissure notée lors de la VTA 2017.</p>	<p>des fissures notées lors de la VTA 2018 ;</p> <ul style="list-style-type: none"> Ravines notées lors de la VTA 2018 comblées. 			<p>Améliorations :</p> <ul style="list-style-type: none"> Reprise de fissures dans le chenal en enrochement bétonné du fossé de dérivation sud
Système de drainage sous la géomembrane	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.	<p>Inspection vidéo en 2017 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Conduites de la Baie 1 et 2 : pas de défauts notifiés ; Conduites de la Baie 3 et 4 : Partiellement colmatées, l'inspection n'a pu être réalisée sur toute la longueur des conduites. Un curage a été effectué en 2018. Néanmoins, ils n'ont pas pu être totalement nettoyés. Il est à noter que le jour de la visite, un écoulement était observé au droit de ces 2 conduites : obstruction partielle. 	<p>Amélioration : Curage en janvier 2020 des conduites colmatées notées lors de la VTA 2018.</p>			<p>Améliorations :</p> <ul style="list-style-type: none"> Nouvelle tentative de curage de la conduite de sous-drainage n°4.
Géomembrane	<ul style="list-style-type: none"> Déchirures locales, mais réparations assez rapides ; Défauts d'ancrage du talus 206,5/220 du bassin. 	Soulèvements locaux à cause de l'absence de ballast.	<ul style="list-style-type: none"> Soulèvements locaux dus à l'action du vent ; Perforations locales sur les talus de l'aire de stockage. 	<p>Améliorations :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ajout de ballasts tubes sur les secteurs exposés Campagne de réparation des perforations. 			<ul style="list-style-type: none"> La géomembrane du parement amont est en bon état soit sur le talus au-dessus de la banquette à 220 ou sur la partie encore visible du talus inférieur au-dessus du surnageant Elle présente par endroits des réparations suite à des perforations dues aux chutes de pierres depuis la crête.
Puits de pompage	Amélioration : Réparation des fissures du voile béton et installation d'une poutre de renfort.	Pas de défauts notifiés.	Amélioration : Remplacement de l'une des pompes en avril 2018 par une pompe immergée alimentée par un groupe électrogène.	Pas d'information			
Barge de pompage dans le bassin	Pas de défauts notifiés.	Amélioration : Nouveau bateau de surveillance.	Le volant des vannes est en mauvais état.	Améliorations :			Améliorations :

Evolution des dégradations/défauts et amélioration dans le temps (par source)							
Ouvrage	ETC 2016	VTA 2017	VTA 2018	VTA 2019	VTA 2020	VTA 2021	VTA 2022
			Amélioration : Doublement des amarres de la barge.	Volants des vannes en mauvais état remplacés.			<ul style="list-style-type: none"> Sécurisation du bon fonctionnement du bateau (entretien, achat de rames).
Conduites de transfert des eaux	Flotteurs de la ligne de pompage heurtent le parement amont.	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.	Pas d'information			
Conduites d'amenée des pulpes	<ul style="list-style-type: none"> Ligne ouest plus utilisé est posée sur la géomembrane : risque de détérioration ; Fuite sur la conduite sud. 	Pas de défauts notifiés.	Pas de défauts notifiés.	Pas d'information			<ul style="list-style-type: none"> Risque d'instabilité par érosion de la latérite en fondation, proximité du bord de la banquette à 220)
Evacuateur de crue et chenal d'évacuation	En construction et obstruction du chenal par un merlon en remblais.	En construction.	En construction (obstruction de l'amont de l'évacuateur par des conduites par du matériel).	Pas d'information			<ul style="list-style-type: none"> En cours de construction.
Cellules d'essais	Mauvaise sécurisation (risque de chute)	Mauvaise sécurisation (risque de chute)	Pas de défauts notifiés.	Pas d'information			
Auscultation	<ul style="list-style-type: none"> Signalétique insuffisante ; Echelles limnimétriques vieillissantes ; Mesure difficile du niveau d'eau des résidus dans le bassin ; Seuil de mesure des fossés de pied nord et central (éboulis et risque de submersion) ; Contrôle des débits et de la conductivité des eaux des fossés en pied aval à automatiser ; Débits et conductivités des eaux des drains des banquettes sud et nord non mesurés. 	<ul style="list-style-type: none"> Mesure difficile du niveau d'eau des résidus dans le bassin et impossible en cas de forte crue ; Contrôle des débits et de la conductivité des eaux des fossés en pied aval à automatiser ; Echelles de niveau d'eau des fossés aval nord et sud dégradés ; Absence de dispositif d'auscultation sur le dog-leg et absence de suivi piézométrique au niveau des appuis du barrage au droit des drains horizontaux des banquettes ; Absence de chaînage régulier au niveau du barrage (crête à banquette 220). <p>Amélioration :</p> <ul style="list-style-type: none"> Echelle de niveau d'eau du fossé central remplacée. 	<p>Amélioration :</p> <ul style="list-style-type: none"> Nouvelle échelle de mesure du niveau du bassin et mesure GPS 1 fois par semaine ; Echelles de niveau d'eau des fossés aval nord et sud changées ; Rangement des locaux d'acquisition ; Mise en place de repères topographique en crête du barrage ; Mise en place d'un dispositif d'auscultation constitué d'une colonne de capteurs de pression interstitielles au niveau du dog leg. 	<p>Amélioration :</p> <ul style="list-style-type: none"> Automatisation du contrôle des débits et de la conductivité des eaux des 3 fossés en pied aval ; Ajout d'un monument topographique au niveau de la nouvelle colonne de CPI du dog-leg ; Mise en place d'un chaînage régulier sur la crête du barrage. 			<p>Améliorations :</p> <ul style="list-style-type: none"> Installation d'un dispositif de mesure en continu du niveau d'eau dans le parc.
Installations électriques	<ul style="list-style-type: none"> Pas de défauts notifiés 	<ul style="list-style-type: none"> Globalement : Quelques câbles mal protégés et 	Amélioration :	Pas d'information	Amélioration :	<ul style="list-style-type: none"> Réalisation d'un exercice pour le dispositif d'alarme en 2021 	

Evolution des dégradations/défauts et amélioration dans le temps (par source)							
Ouvrage	ETC 2016	VTa 2017	VTa 2018	VTa 2019	VTa 2020	VTa 2021	VTa 2022
		câbles dans station de mesures mal rangés.	<ul style="list-style-type: none"> Nouvelle salle électrique depuis l'incendie de la précédente en février 2018. 		<ul style="list-style-type: none"> Reconstruction d'une seconde salle électrique en crête rive gauche en 2019. Installation de nouveaux dataloggers et mise en place d'un système de remontée des données en automatique Mise en œuvre d'un dispositif d'alarme sonore en cas de risque de rupture du barrage KO2 et installation d'un second boîtier à la brigade d'intervention d'urgence. 		

5.2 Conception initiale de la verse Lucy et ses ouvrages annexes, construction et travaux importants

5.2.1 Conception initiale de la verse Lucy

5.2.1.1 Description

Les éléments constitutifs de la verse Lucy sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 58 : Eléments constitutifs de la verse

Localisation	Eléments	Détails
Base de la verse	Système de drainage des sous écoulements	→ WK17, WK20, LS1, LS2, LS3, LS4 et LS5 ; → DA1, DA2, DA3, DA4, DA5 et DA6. → Exutoires.
	Ouvrage d'extension du système de sous drainage du parc à résidus KO2 et des drains de pied	→ Extension des 4 conduites de sous drainage du barrage KO2 ; → Extension des drains de pied (4R7, 4R8 et 4R9) ; → Aménagement d'un nouveau puits de pompage en aval de la verse.
	Extension des drains horizontaux	→ Extension du drain 206 S → Extension de drain 220 N → Exutoires
	Barrière d'étanchéité	50 cm de latérites compactées
	Système de collecte des eaux d'infiltration (lixiviats)	→ Géocomposite de drainage (drintube) → Puisard
Verse Lucy	Verse Lucy	→ Casiers de stockage des résidus → Renforts internes et externes
	Mise hors d'eau	→ Drain de dérivation sud permanente
	Système de drainage de la verse	→ Descentes d'eau
	Système d'auscultation	→ Piézomètres à corde vibrante → Inclinomètres automatisés (SAA) → Inclinomètres à mesure manuelle (INC) → Plots topographiques (PT)

Localisation	Eléments	Détails
		→ Piézomètres (PZ) → Repères de tassement automatisés (SG)
Bassins des eaux de contact	Bassin Nord (NCWP)	→ Système de drainage des sous écoulements ; → Système de détection des fuites ; → Dispositif d'étanchéité sous les bassins ; → Système de récupération des eaux de contact des bassins Nord et Sud (système de clarinette) ; → Système de pompage des eaux de contact du bassin central ; → Evacuateur de crues provisoire du bassin Nord ; → Evacuateur de crues du bassin central.
	Bassin Sud (SCWP)	
	Bassin central (FCWP)	
Piste d'accès au NCWP		→ Piste drainante → Canal trapézoïdal

La description détaillée de chaque élément est présentée dans le chapitre 3 « Analyse fonctionnelle de l'ouvrage et de son environnement » de la présente étude de dangers.

5.2.1.2 Dimensionnement

Les critères de design et les principaux éléments relatifs au dimensionnement de la verse Lucy sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 59 : Synthèse de critères de design et les éléments de dimensionnement de la verse Lucy

Elément	Description
<i>Géométrie de la verse</i>	
Surface de l'emprise de la verse	80 ha
Cote de la crête (EL)	232.00
Cote du fond (EL)	148.00
Cote de plateforme ultime (EL)	252.00
Longueur de crête	1 km
Pente intégratrice	13°

Elément	Description
Pente inter-rampe	1V:3H
Pente du gradin	35°
Hauteur maximale des niveaux	5 m
Largeur des banquettes	8,25 m
Largeur de la piste frontale	17 m
<i>Critère de conception de la capacité de la verse</i>	
Volume de stockage total	31,9 Mm ³
Capacité de dumper articulé pour la mise en place des résidus asséchés	55t
Cadence de stockage	20 m par an

5.2.1.3 Justification géotechnique

5.2.1.3.1 Analyse de la stabilité du barrage KO2 après confortement

Les résultats de stabilité du barrage à l'état actuel confirment que le niveau de stabilité du barrage tel que calculé en conditions non drainées et post sismiques ne satisfont pas les critères de stabilité retenus selon les recommandations de l'ANCOLD 2019.

La réalisation d'une verse en résidus asséchés contre le parement aval du barrage KO2 (projet LUCY) permet de conforter le barrage existant et de répondre aux exigences des directives et normes en vigueur en augmentant les garanties de stabilité mécanique vis-à-vis des risques sismiques extrêmes.

Les critères de stabilité du barrage selon les recommandations de l'ANCOLD 2019 seront atteints, dans une première phase, à la fin de la phase 5 (de la rive sud jusqu'à la coupe CH700 et totalement dès la phase 7 de construction de la verse. Cette phase est appelée phase de confortement du barrage.

L'analyse de stabilité du barrage après confortement est présentée dans les paragraphes suivants.

5.2.1.3.1.1 Design du confortement

La phase de confortement intermédiaire correspond à la phase 5 de construction de la verse (cote 180 m) et correspond à un volume de 3.6 Mm³. Cette phase permet de confiner la zone la plus critique située entre les profils CH500 et CH700.

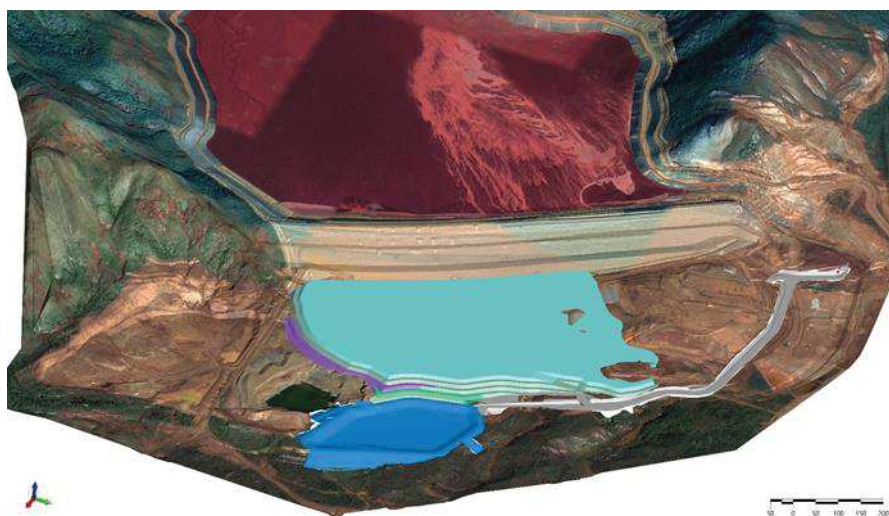


Figure 82 : Vue 3D de la phase 5

La phase finale du confortement correspond à la fin de la phase 7 de construction de la verse.

Le volume total est de l'ordre de 6,583 Mm³, correspondant à un remblai d'une hauteur 22 m et d'une largeur de 380 m à partir de la crête de la première banquette du barrage KO2 à la cote 190 m. La vue 3D est présentée sur la Figure 83.

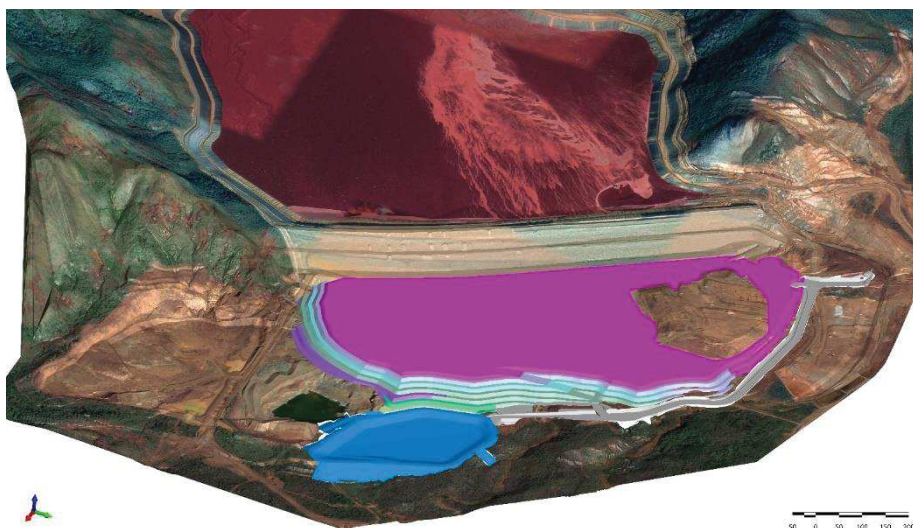


Figure 83 : Vue 3D de la phase 7

5.2.1.3.1.2 Résultats des calculs de stabilité du barrage KO2 après confortement

Les résultats des calculs de la stabilité du barrage KO2 en tenant compte de la phase de confortement montrent que le niveau de stabilité du barrage satisfait l'ensemble des critères de stabilité selon les recommandations de l'ANCOLD 2019.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 60.

Tableau 60 : Résultats du calcul de stabilité du barrage KO2 après confortement

Type d'analyse		Coefficient de sécurité (Phase 5)	Coefficient de sécurité (Phase 7)	Critère d'analyse
En conditions statiques	Non drainées	1,43	1,61	$\geq 1,30$
En conditions post sismiques (séisme d'évaluation de sécurité SEE)	Stabilité post sismique	1,15	1,2	$\geq 1,10$

5.2.1.3.2 Analyse de la stabilité au grand glissement de la verse

5.2.1.3.2.1 Paramètres retenus pour l'aléa sismique

L'évaluation de l'aléa sismique réalisée par le BRGM a présenté les caractéristiques relatives à :

- Huit (8) accélérogrammes naturels sélectionnés pour un spectre cible médian de périodes de retour respectives de 475 ans (OBE) et 10 000 ans (SEE) dans le cadre de l'étude de 2015 ;
- Six (6) accélérogrammes naturels sélectionnés pour un spectre cible moyen de périodes de retour respectives de 475 ans (OBE) et 10 000 ans (SEE) dans le cadre de l'étude de 2021.

Pour le choix des accélérogrammes à retenir pour les études dynamiques de la verse, une évaluation du potentiel de mobilité cyclique a été réalisée sur la coupe représentative de la verse, en utilisant les accélérogrammes sélectionnés par BRGM en 2021 et l'accélérogramme qui correspond au séisme de Michoacan de la sélection BRGM 2015, moyennant le code de calcul Quake/W de la suite Geostudio.

A l'issue de cette analyse, deux accélérogrammes (un de chaque sélection de BRGM) sont considérés les plus contraignants pour les calculs dynamiques, dont les paramètres sont présentés dans le Tableau 61.

Tableau 61 : Paramètres de l'Aléa Sismique

Description	Enregistrement sismique		Magnitude Richter.	Accélération maximale au rocher APR (g)	Rup (km)	Période de retour de l'évènement (Années)
Séisme d'Evaluation de la Sécurité (SES)	BRGM 2021	RSN5618-IWATE 2008 (Japon)	6,9	0,27	16,27	10 000
Safety Evaluation Earthquake (SEE)	BRGM 2015	Michoacan 1985 (Mexique)	8	0,32	75	10 000

- L'accélérogramme relatif au séisme de Michoacan (1985) de la sélection BRGM 2015, considéré le plus contraignant dans les deux sélections de BRGM en 2015 et en 2021, est retenu pour les calculs dynamiques réalisées en 2021/2022. Il correspond à une magnitude 8 et une période de retour de 10 000 ans. Il a une fréquence moyenne de 4 Hz, il est riche en accélérations supérieures à 0,1g et a atteint des accélérations extrêmes variant entre 0,15g et 0,32g (cf. Figure 84).
- La magnitude correspondant à cet accélérogramme a été retenue pour l'estimation du nombre de cycles équivalents à utiliser pour l'évaluation du potentiel de liquéfaction.
- En conclusion, le séisme de projet retenu est celui de Michoacan (1985) de la sélection BRGM 2015 caractérisée par une accélération PGA de 0,32g pour le SEE.

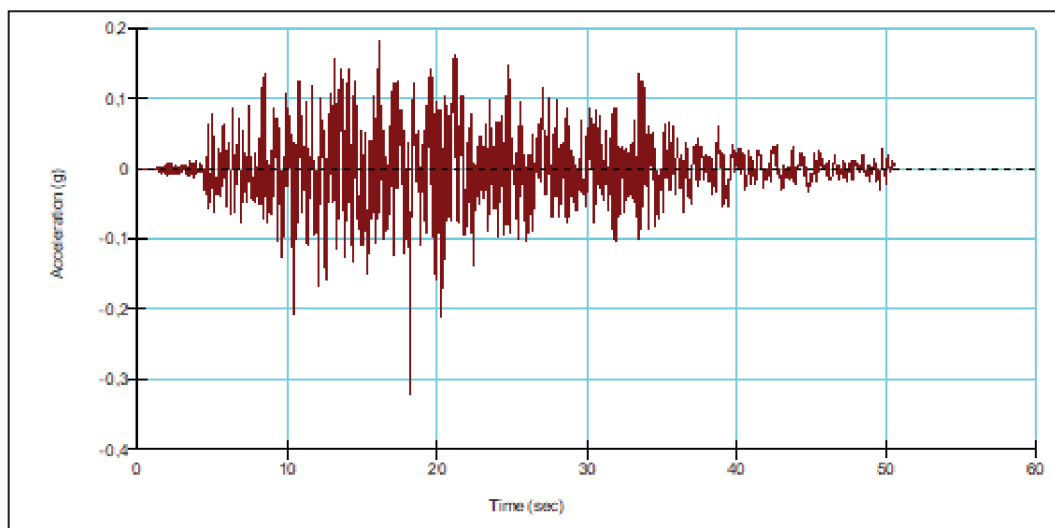


Figure 84 : Enregistrement sismique (Michoacan 1985, Mexique) adopté dans le calcul de stabilité dynamique

5.2.1.3.2 Synthèse des résultats des calculs de la stabilité au grand glissement de la verse Lucy

Une étude de stabilité de la verse au grand glissement a été réalisées pour le profil de référence CH600 sous différentes conditions moyennant les logiciels suivants :

- Logiciel Plaxis (méthode des éléments finis) pour des calculs des surpressions, des facteurs de sécurité en cours de construction de la verse (à court terme) et après dissipation quasi-totale des surpressions interstitielles (à long terme) et des tassements au niveau de la fondation et des conduites ;
- Logiciel Slope/W (méthode des équilibres limites : Morgenstern-Price) pour des calculs de facteur de sécurité de la verse en fin de construction (conditions non drainées), à long terme (conditions drainées) et après passage du séisme de référence (post sismique) ;
- Logiciel Quake/W (méthode du Milieu linéaire équivalent) pour des calculs de la variation des surpressions interstitielles et délimitation des zones qui dépassent le seuil de mobilité cyclique.

Les résultats des calculs de la stabilité au grand glissement de la verse Lucy sous différentes conditions statiques et sismiques sont synthétisés dans le Tableau 62.

Tableau 62 : Synthèse des résultats des calculs de stabilité de la verse Lucy

Type d'analyse		Méthode de calcul/logiciel	Coefficient de sécurité/déformation calculé	Critère de stabilité/déformation retenu
En condition statique	Stabilité à court terme à la fin de la construction en condition non drainée	Logiciel Slope/W (Méthode Equilibre Limite de Morgenstern-Price)	1,30	1,30 (sans perte de confinement)
	Stabilité à court terme (A la fin de la construction) en conditions drainées avec considération des surpressions interstitielles de consolidation	Logiciel Plaxis (Méthode aux éléments finis)	1,51	
	Stabilité à long terme en condition drainée	Logiciel Slope/W (Méthode Equilibre Limite de Morgenstern-Price)	2,33	≥ 1,50
		Logiciel Plaxis (Méthode aux éléments finis) Après dissipation des pressions interstitielles jusqu'à 10kPa	1,98	
En conditions sismiques	Stabilité après le passage de séisme SEE (calcul post-sismique)	Logiciel Quake/W (Méthode du Milieu Linéaire Equivalent)	1,11	≥ 1,10

Ces résultats montrent que le design de la verse garantie sa stabilité selon les critères définis par le référentiel ANCOLD 2019 en conditions statiques (en court de construction et à long terme) et en conditions sismiques jusqu'au séisme de récurrence 1/10 000 ans.

5.2.1.3.3 Préviation des tassements et de leur impact sur le barrage KO2

Le dépôt de résidus asséchés commencera en juillet 2023. La hauteur ultime de la verse sera de 104 m après 11 ans de stockage ce qui appliquera des charges supplémentaires sur les fondations naturelles et partiellement sur le barrage KO2. Ces tassements peuvent notamment affecter le fonctionnement des systèmes de drainage situés au droit de la verse. Des analyses détaillées ont donc été menées afin d'évaluer l'amplitude des tassements attendus et d'anticiper l'impact de ces tassements sur le fonctionnement de la verse et des ouvrages associés.

Les tassements ont été évalués sur la durée d'exploitation de l'ouvrage à partir d'un modèle aux éléments finis (PLAXIS 2D).

Les analyses des tassements théoriques induits par la construction de la verse montrent que :

- Compte tenu de sa forte compressibilité, l'assise subit un tassement maximal de 3,6 m localisé sous la crête de la future verse ;
- La construction de la verse provoque un tassement de la crête du barrage KO2 limité à 0,45 m. Ce tassement est inférieur à la revanche vis à vis du débordement du barrage KO2 qui est de 0,7 m par rapport à la PHEE (Plus Hautes Eaux Exceptionnelle correspondant à la Pluie Maximale Probable (PMP). Ces tassements seront compensés par un apport de remblai en crête du barrage pour maintenir la cote de la crête en phase ultime de la construction de la verse ;
- Le tassement maximal du corps de la verse après la fin de sa construction et jusqu'à dissipation quasi-totale des surpressions interstitielles est de l'ordre de 1 m.

5.2.1.3.4 Synthèse globale

Les études montrent que :

- La verse telle que conçue est stable pour toutes les situations de construction et d'exploitation considérées, y compris en condition au séisme ;
- Il n'y a pas d'impact négatif (en termes de stabilité et de tassement) sur la fonctionnalité du barrage KO2, pour lequel au contraire une meilleure stabilité est attendue ;
- Les tassements métriques attendus au niveau de la fondation ne sont ni préjudiciables pour le bon fonctionnement des réseaux de drainage existants et à construire au droit de la verse ni pour le barrage KO2.

Les conclusions des études de stabilité sont d'autant plus robustes qu'un cumul d'hypothèse sécuritaires a été considéré :

- Une stratigraphie conservatrice avec une épaisseur des sols compressibles et moins compétents mécaniquement maximisée ;

- Des paramètres géomécaniques sécuritaires, c'est-à-dire, dans la fourchette basse de la gamme mesurée ;
- Un niveau d'eau conservateur, au-dessus des niveaux observés.

Par ailleurs, il est prévu de mettre en place un dispositif d'auscultation permettant la réalisation des mesures de déplacement et de pressions interstitielles dans la verse et son assise. Ces mesures permettront de confirmer les résultats des études de stabilité et de prévenir/anticiper d'éventuelles anomalies de comportement de la verse et du barrage KO2.

Au fur et à mesure de la construction de la verse, des campagnes de caractérisations complémentaires ainsi que des planches d'essais seront réalisées dans le but d'analyser la variabilité des caractéristiques des résidus asséchés et de confirmer le choix des valeurs de références.

Les résultats de l'auscultation et de la caractérisation complémentaire des résidus asséchés permettront de réaliser le calage du modèle géotechnique et d'affiner si besoin le design en cours de construction.

5.2.2 Conception initiale de la dérivation Sud permanente

Le système de mise hors d'eau de la verse est constitué par un canal de dérivation des eaux naturelles générées par les bassins versants résiduels situés au sud du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy.

Le débit de récurrence centennale retenu pour le canal est évalué à 53.87 m³/s. Les calculs hydrauliques réalisés montrent que :

- Pour le tronçon 1 : un canal trapézoïdal de 2 m de profondeur et 5 m de largeur à la base permet d'évacuer la crue de récurrence centennale. Au regard de la vitesse théorique d'écoulement, un enrochement de diamètre variant entre 500 et 1 000 mm est nécessaire pour limiter l'érosion engendrée par les eaux de ruissellements (Cf. Tableau 63)
- Pour le tronçon N°2, une piste drainante composé d'un canal enroché de 3 m de largeur à la base et de 1 m de profondeur avec une piste de 4 m de largeur permet d'évacuer la crue de récurrence centennale. La piste est protégée par un merlon de 1 à 1,5 m de hauteur.
- Pour le tronçon 3 : Les eaux collectées par le drain de dérivation Sud seront rejetées dans un affluent de la rivière KO2 située en amont de la carrière à Limonites Sud. Avant l'aménagement de la dérivation Sud permanente, ce cours d'eau naturel draine un bassin versant de superficie égale à 6,5 ha. Il présente une longueur de 350 m et sa pente naturelle maximale est de 10 %.) Après aménagement de la dérivation permanente, ce cours d'eau drainera un bassin versant de superficie égale à 60,37 ha. Il est ainsi recommandé de conforter le point de rejets par la mise en place d'enrochement le diamètre varie de 500 mm à 1000 mm et ce, sur un linéaire de 60 m (jusqu'à atteindre la confluence avec un autre affluent de la KO2).

Tableau 63 : Caractéristiques hydrauliques des écoulements dans le tronçon 1 – Dimensionnement retenu

Type d'ouvrage	PT		Pente	Q100	K	L	Lame d'eau	H	Vitesse	Diamètre enrochements
	De	à	(%)	(m ³ /s)		(m)	(m)	m	m/s	mm
Canal trapézoïdal 1	PT01	PT09	3,6	53,87	23	5	1,66	2	4,88	500 à 1000
	PT10	PT21	9,2		21	5	1,35	2	6,36	500 à 1000
	PT22	PT29	1		21	5	1,31	2	6,52	500 à 1000

**Tableau 64 : Caractéristiques hydrauliques des écoulements pour le tronçon 2 –
Dimensionnement retenu**

Type d'ouvrage	PT		Pente	Q100	K	Largeur à la base du caniveau	Largeur de la piste	Lame d'eau	Vitesse	Diamètre enrochements
	De	à	(%)	(m³/s)		(m)		(m)	m/s	mm
Piste drainante	PT30	PT32	1	53,87	23	3	4	2,5	2,8	100 à 200
	PT33	PT43	12		23	3	4	1,5	6,6	500 à 1000

5.2.3 Conception initiale des casiers de stockage et des renforts internes et externes

5.2.3.1 Description

Le stockage des résidus se fera par la méthode des casiers qui consiste à construire des renforts drainants internes (côté barrage KO2) et externes (côté talus ultime) qui délimitent les casiers de stockages aménagés tous les 5 m.

La gestion des eaux au niveau des casiers est assurée par des buses installées au niveau des renforts, du côté aval. Les buses font 500 mm de diamètre et sont placées au fond de chaque casier de stockage.

La construction des renforts sera réalisée comme suit :

- ➔ Mise en place des renforts internes composés uniquement de résidus compactés sans enrochements en saison sèche ;
- ➔ Mise en place des renforts internes et externes construits avec une couche de base en résidus compactés et une couche en enrochements permettant la circulation des engins en saison pluvieuse.

5.2.3.2 Critères de dimensionnement

Les caractéristiques des renforts internes et externes sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 65 : Caractéristiques des renforts internes et externes

Elément		Description
Zone de stockage période sèche		
Renforts internes	Largeur	8 m
	Nombre de voies	1
	Epaisseur de la couche de roulement en enrochements (m)	-

Elément		Description
	Epaisseur de la couche de résidus compactés jusqu'à 95% de l'OPM (m)	2 m
	Epaisseur de la couche de résidus poussés au bull (m)	3 m
Zone de stockage période pluvieuse		
Renforts internes	Largeur	8 m
	Nombre de voies	1
	Epaisseur de la couche de roulement en enrochements (m)	0,8 m
	Epaisseur de la couche de résidus compactés jusqu'à 95% de l'OPM (m)	1 m
	Epaisseur de la couche de résidus poussés au bull (m)	3,2 m
Renforts externes	Largeur	17 m
	Nombre de voies	2
	Epaisseur de la couche de roulement en enrochements (m)	0,9 m
	Epaisseur de la couche de résidus compactés jusqu'à 95% de l'OPM (m)	4,1 m
	Epaisseur de la couche de résidus poussés au bull (m)	-
Drainage des casiers de stockage de résidus		
Buses	Surface casier (Ha)	2,4
	Q2 (m³/s)	0,35
	Diamètre	500 mm

5.2.4 Conception initiale de système de drainage des plateformes de stockage (Descente d'eau)

5.2.4.1 Description

La gestion des eaux de pluies interceptées par les plateformes de stockage et les talus sera assurée en surface par la construction de 11 descentes d'eau.

Ces descentes d'eau seront construites en enrochements avec une section trapézoïdale, posées sur du géotextile et qui seront rehaussées au fur et à mesure de la construction de la verse.

L'objectif principal de la mise en place des descentes d'eau est d'assurer le drainage des banquettes et des casiers de stockage en cours de construction et aussi de maîtriser les ruissellements sur les talus de la verse.

5.2.4.2 Critères de dimensionnement

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques hydrologiques et hydrauliques ainsi que les caractéristiques géométriques des descentes d'eau.

Le débit retenu pour le dimensionnement correspond à la plus grande surface du bassin versant drainée durant les différentes phases de construction de la verse.

Tableau 66 : Dimensions et caractéristiques hydrauliques des descentes d'eau

Ouvrages	Q ₁₀₀	Pente	Largeur à la base	Profondeur	Lame d'eau centennale	Vitesse d'écoulement	Φ enrochements	Epaisseur enrochements
	m ³ /s	%						
D1	4,36	13,5	2	1	0,42	4,29	500 à 1000	1,5
D2	3,66	26	2	1	0,313	5,07	500 à 1000	1,5
D3	4,99	25	2	1	0,38	5,52	500 à 1000	1,5
D4	4,53	27	2	1	0,351	5,5	500 à 1000	1,5
D5	4,75	27	2	1	0,361	5,58	500 à 1000	1,5
D6	4,77	28	2	1	0,358	5,66	500 à 1000	1,5
D7	5,56	28	2	1	0,393	5,95	500 à 1000	1,5
D8	4,63	Pente minimale : 24 Pente maximale : 31	2	1	0,37 (pente minimale)	5,83 (pente maximale)	500 à 1000	1,5
D9	4,97	5	3	1	0,483	2,96	300 à 500	1
D10	1,65	24	2	1	0,2	3,78	300 à 500	1
D11	2,09	24	2	1	0,23	4,09	300 à 500	1

5.2.5 Conception initiale de système de drainage des sous écoulements

5.2.5.1 Description

Le système de drainage des sous écoulements permet de collecter les eaux circulant principalement au niveau des terrains superficiels situés directement sous la verse Lucy.

Ce système comprend :

- ➔ Le drainage des eaux des émergences répertoriées dans l'emprise du projet (WK17, WK20, LS1, LS2, LS3, LS4 et LS5) ;
- ➔ Les eaux de fuites à travers la barrière étanche ;

- ➔ Le drainage des eaux d'éventuelles remontées localisées de la nappe dans l'emprise du projet et canalisées par les drains DA1, DA2, DA3, DA4, DA5 et DA6.

Afin de gérer ces eaux (généralement de faible débit), un réseau de drains en enrochements sera aménagé. Les eaux collectées par les drains seront acheminées vers :

- ➔ Le creek KO2 pour les drains « DA1, DA2, DA3, DA5 et DA6 » ;
- ➔ Les drains d'extension des sources d'eau WK17 et WK20 via les enrochements placés le long des conduites de drainage de ces sources d'eau pour les sources LS1 à LS3 et le drain DA4 ;
- ➔ Le drain DA5 pour les sources d'eau LS4 et LS5.

Deux regards en béton armé seront aménagés au niveau des exutoires des sources WK17 et WK20 afin de contrôler le débit et la qualité des eaux.

5.2.5.2 Critères de dimensionnement

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de différents ouvrages de drainage des sous écoulements :

Tableau 67 : Dimensionnement et caractéristiques de système de drainage des sous écoulements

Drain	Débits des sources	Débits des résurgences de la nappe	Débit de fuite à travers la couche d'étanchéité			Débits de conception	Pente	Section calculée du drain en enrochement	Section retenue du drain en enrochement
			Surface du bassin versant	Flux d'infiltration	Débit intercepté par drain				
	1/s	1/s	Ha	1/s	1/s	1/s	(%)	(m²)	(m²)
DA1-amont	-	10	2,39	$1,1 \cdot 10^{-7}$	2,63	12,63	1,7	0,18	1 m² + conduite DN 110
DA1-aval	-	10	4	$1,1 \cdot 10^{-7}$	4,4	61,27	1,7	1,8	1,8m² + conduite DN110
DA2	-	10	7	$1,1 \cdot 10^{-7}$	7,7	17,7	0,7	0,98	1m² + conduite DN110
DA3	-	10	7,56	$1,1 \cdot 10^{-7}$	8,32	18,32	0,8	0,74	1m² + conduite DN110
DA4	-	10	2,23	$1,1 \cdot 10^{-7}$	2,45	12,45	1,8	0,45	1m² sans conduite crépinée
DA5-amont	-	10	4,91	$1,1 \cdot 10^{-7}$	5,4	15,40	0,5	0,81	1m² + conduite DN110
DA5-aval	-	-	12,43	$1,1 \cdot 10^{-7}$	13,67	70,11 ³	0,5	4,18	4,5 m² + 3 conduites DN 110
DA6	-	10	3.68	$1,1 \cdot 10^{-7}$	4,05	14,05	1	0,72	1m² sans conduite crépinée
WK17	2,5					10 ⁴ et 22,45	2	0,71	2,5+ 2 conduites DN110

³ Ce débit est réparti entre la section enrochées (49 l/s) et la conduite DN110 (22.1 l/s)

⁴ 10 : Débit de conception des conduites /22,45 : débit de conception du drain en enrochements

Drain	Débits des sources	Débits des résurgences de la nappe	Débit de fuite à travers la couche d'étanchéité			Débits de conception	Pente	Section calculée du drain en enrochement	Section retenue du drain en enrochement
			Surface du bassin versant	Flux d'infiltration	Débit intercepté par drain				
	1/s	1/s	Ha	1/s	1/s	1/s	(%)	(m²)	(m²)
WK20	10					10 et 20	2	0,71	2,5+ 2 conduites DN110
LS1	10	-	-	-	-	10	0,5	0,41	1m² + conduite DN110
LS2	10	-	-	-	-	10	0,5	0,41	1m² + conduite DN110
LS3	10	-	-	-	-	10	2	0,36	2,5 sans conduite crépinée
LS4- amont	10	-	-	-	-	10	6,12	0,01	1m² + conduite DN110
LS4-aval	-	10	0.94	1,1 10 ⁻⁷	1,03	31,03	1,4	1,04	1m² + conduite DN110
LS5	10	-	-	-	-	10	9,31	0,16	2,5 sans conduite crépinée

5.2.6 Conception initiale de l'extension du réseau de sous drainage existant et des drains de pied KO2

5.2.6.1 Description

Dans le cadre du projet Lucy, il est prévu d'étendre jusqu'à la limite aval de la verse Lucy :

➔ Le réseau de sous drainage existant du parc à résidus KO2 via l'extension des 4 conduites,

➔ Les drains de pied KO2 constitués actuellement par 3 fossés nommées 4R7, 4R8 et 4R9. Les travaux prévus englobent d'abord la canalisation des trois drains de pied existants jusqu'au pump pit existant et ensuite l'extension, avec la même section, des quatre conduites finales du réseau de sous drainage du bassin KO2 ainsi que les deux⁵ conduites aménagées des drains (4R7 et 4R8), sous l'emprise de la future verse Lucy et jusqu'à l'aval.

Le dispositif, regroupant les 6 conduites est nommé « ouvrage d'extension des conduites du réseau de sous drainage de KO2 et des drains de pied ».

Ces conduites seront protégées par des dalots préfabriqués. Il s'agit d'un enrobage en béton de 1 m d'épaisseur.

5.2.6.2 Critères de dimensionnement

Les différentes caractéristiques des ouvrages d'extension du réseau de sous drainage existant et les drains de pied KO2, ainsi que leurs dimensionnements sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 68 : Caractéristiques et dimensionnement des ouvrages relatifs à l'extension du réseau de sous drainage existant et des drains de pied KO2

Elément		Description
<i>Caractéristiques hydrauliques de l'extension du réseau de sous drainage et des drains de pied du barrage KO2</i>		
Canalisation des drains de pied existants	Débit maximal instantané enregistré au niveau des drain de pied	538 m ³ /h au niveau du drain 4R7 ; 501,3 m ³ /h au niveau des drains 4R8 et 4R9.
	Débits de dimensionnement	1000 m ³ /h ⁶
	Enrochements	50 mm
	Section	Section minimale de 2 m ²

⁵ L'emprise du drain 4R9 sera recouverte par un tapis drainant pour capter les eaux diffuses et ensuite les évacuer à travers le drain 4R8.

⁶ Le captage du 4R9 se fait par un tapis drainant permettant d'évacuer les eaux aussi bien au niveau du 4R8 qu'au niveau du 4R7

Elément		Description
	Géotextile de filtration	350 g/m
	Type des conduites	PEHD de diamètre DN500 mm (crépines)
	Pente	0,5% pour les drains 4R8 et 4R9 et 0,85 % pour le drain 4R7
Extension des quatre collecteurs du réseau de sous drainage du parc à résidus KO2 et des deux collecteurs (4R7 et 4R8)	Débit maximal enregistré au niveau des quatre conduites de sous drainage	720 m ³ /h
	Type des conduites	PEHD de diamètre DN355 mm (pleines)
	Pente	Avant tassement : 0,5% Après tassement : 0% ⁷
<i>Dimensionnement génie civil de l'ouvrage d'extension du réseau de sous drainage existant et des drains de pied KO2</i>		
Dimensions de l'ouvrage d'extension	Type de l'ouvrage	Dalot en béton armé
	Hauteur intérieure de l'ouvrage	0,8 m
	Largeur intérieure à la base de l'ouvrage	2 m
	Longueur de l'ouvrage.	420 m
	Dalot type 1	Nombre d'éléments
	Dalot type 2	Nombre d'éléments
	Dalot type 3	Nombre d'éléments
		110
		55
		45

⁷ Après tassement, les conduites seront quasiment plates et l'écoulement se fera dans ce cas par mise en charge du système à partir de l'amont, et ce de la même manière que l'écoulement actuel dans les conduites situées sous le barrage KO2.

5.2.7 Conception initiale du nouveau puits de pompage aval

5.2.7.1 Description

Il s'agit d'un ouvrage rectangulaire en béton armé, de hauteur totale égale à 7,4 m à partir du fond du radier. L'assise est constituée par une couche de béton de propreté de 10 cm d'épaisseur.

- ➔ Le radier présente une longueur 5,4 m, une largeur de 10,4 m et d'une épaisseur de 50 cm ;
- ➔ Le 1^{er} niveau du voile est d'une hauteur de 3,5 m au-dessus du radier et d'une épaisseur de 70 cm ;
- ➔ Le 2^{ème} niveau du voile est d'une hauteur de 3,4 m et une épaisseur de 50 cm.

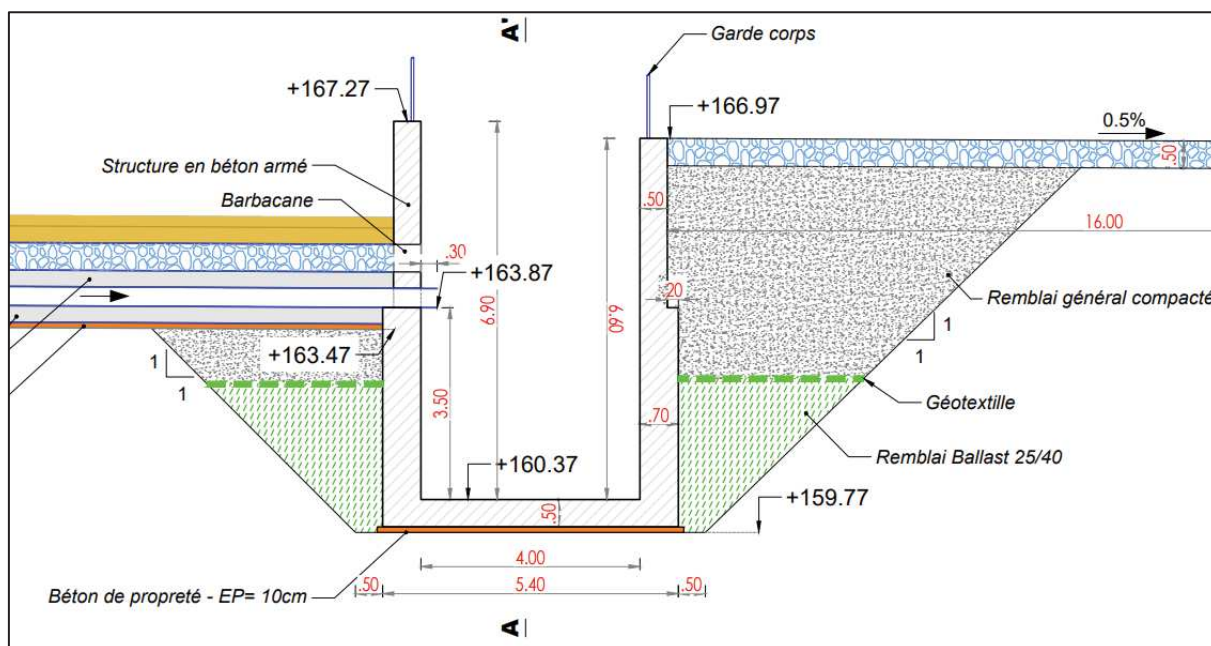


Figure 85 : Coupe longitudinale du puisard Pump pit

5.2.7.2 Critères de dimensionnement

Le dimensionnement génie civil du puits de pompage aval est synthétisé dans le tableau suivant :

Tableau 69 : Dimensionnement génie civil du puits de pompage aval

Elément			Description
<i>Dimensionnement génie civil</i>			
Ferraillage	Radier	Nappe supérieure	Longitudinal : 5HA14/ml Transversal: 5HA12/ml

Elément			Description
(enrobage recommen dé de 5 cm)		Nappe inférieure	Longitudinal :5HA16/ml Transversal: 5HA12/ml
	Voile du premier niveau	Nappe extérieure	Longitudinal :5HA14/ml Transversal: 5HA14/ml
		Nappe intérieure	Longitudinal :5HA12/ml Transversal: 5HA12/ml
	Voile du deuxième niveau	Nappe extérieure	Longitudinal :5HA14/ml Transversal: 5HA14/ml
		Nappe intérieure	Longitudinal :5HA12/ml Transversal: 5HA12/ml

5.2.8 Conception de l'extension des drains horizontaux

5.2.8.1 Description

Deux ouvrages d'extension des drains horizontaux 206S et 220N existants seront construits dans l'emprise de la future verse.

Les eaux collectées par ces drains seront acheminées vers deux exutoires en béton armé, afin de contrôler leur qualité et débit durant et après la fin de construction de la verse.

Ces deux ouvrages ont une largeur de 1,5 m, une longueur de 1,5 m et une hauteur de 2,75 m. L'épaisseur du radier et des voiles est de 25 cm.

Chaque ouvrage est muni d'un seuil en acier inoxydable à crête aigue avec un angle d'ouverture de 60°, encastré dans les voiles longitudinaux et dans un muret en aval de hauteur égale à 1 m, conformément au plan de coffrage correspondant.

- L'exutoire du drain 220N est semi enterré. Sa partie supérieure est calée à la cote 172,11 m NGNC en amont et il est fondé à la cote 169,36 m NGNC. CF. Figure 86 et Figure 87 ;
- L'exutoire du drain 206S est semi enterré. Sa partie supérieure est calée à la cote 154,13 m NGNC en amont et il est fondé à la cote 151,38 m NGNC. CF. Figure 88 et Figure 89.

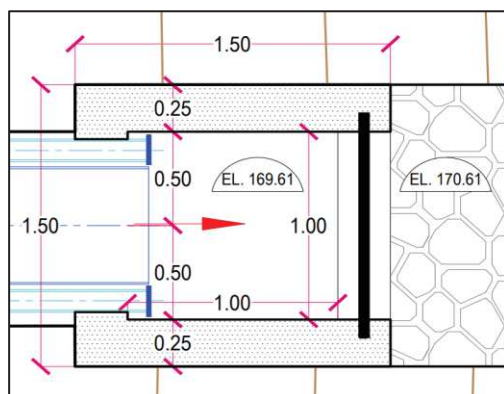


Figure 86 : Vue en plan de l'exutoire du drain 220N

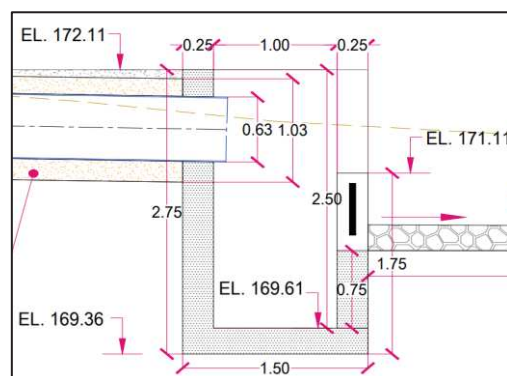


Figure 87 : Coupe longitudinale de l'exutoire du drain 220N

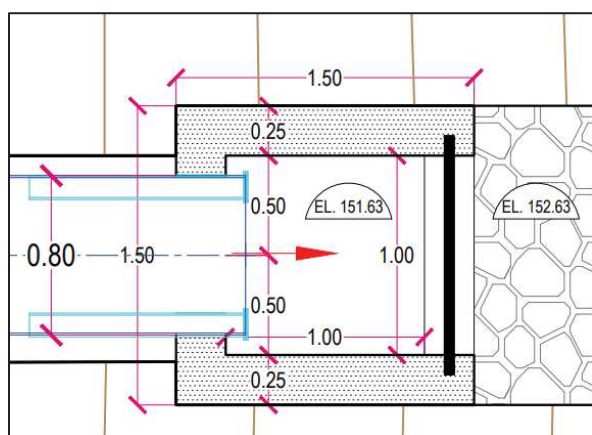


Figure 88 : Vue en plan de l'exutoire du drain 206S

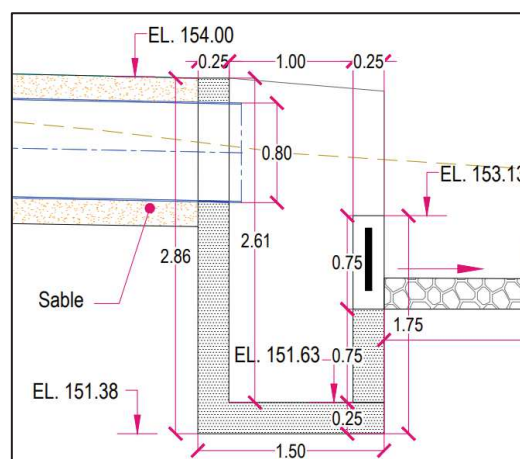


Figure 89 : Coupe longitudinale de l'exutoire du drain 206S

5.2.8.2 Critères de dimensionnement

Le dimensionnement hydraulique des drains d'extension et génie civil des deux exutoires de contrôle des eaux collectées par les drains horizontaux 206S et 220N sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 70 : Dimensionnement hydraulique et génie civil de l'extension des drains 206 S et 220 N

Elément	Description
<i>Caractéristiques hydrauliques de l'extension des drains horizontaux</i>	
Débit de référence du drain 206 S	2,2 m ³ /s
Débit de référence du drain 220 N	1,4 m ³ /s
Type de la conduite existante du drain 206 S et de l'extension	PEHD de diamètre DN 800 mm

Elément	Description
Type de la conduite existante du drain 220 N et de l'extension	PEHD de diamètre DN 630 mm
Pente moyenne de pose du drain 206 S	2,9 %
Pente moyenne de pose du drain 220 N	2,2 %

5.2.9 Conception initiale de dispositif d'étanchéité

5.2.9.1 Description

Une couche d'étanchéité en latérite compactée avec des matériaux de bonne qualité sera mise en place à la base de la verse Lucy.

L'objectif principal de ce dispositif d'étanchéité est de séparer les eaux de percolation traversant la verse à résidus des éventuelles remontées des eaux de la nappe et de d'empêcher la contamination de la nappe par des éventuelles percolations des eaux d'infiltration.

5.2.9.2 Caractéristiques de la barrière étanche

Les caractéristiques de cette couche sont les suivantes :

Tableau 71 : Caractéristiques de la barrière étanche à la base de la verse Lucy

Elément	Description
Epaisseur de la couche	0,5 m
Perméabilité	10^{-8} m/s

Afin d'anticiper les problématiques liées essentiellement à l'approvisionnement de la latérite de bonne qualité (en termes d'étanchéité), notamment dans la zone amont de la verse Lucy, la couche de latérite sera combinée à un géosynthétique bentonitique « GSB » (ou « GCL » en anglais : Géosynthétique Clay Liner).

La perméabilité équivalente de ce système (Limonite sur 50 cm + GCL) est de 10^{-8} m/s.

5.2.10 Conception initiale du système de collecte des eaux de percolation (lixiviats)

5.2.10.1 Description du système de collecte des lixiviats

Le géocomposite draintube est composé de deux nappes géotextiles en fibres synthétiques courtes de polypropylène ou polyester ainsi que de mini-drains en polypropylène annelés et comportant deux perforations par gorge alternées à 90°.

Les mini-drains sont positionnés à intervalles réguliers entre les nappes géotextiles. Ces composants sont associés entre eux par aiguilletage.

Les eaux s'écoulent dans le plan de la nappe perpendiculairement à l'axe des mini-drains et sont évacuées par un drain de collecte qui longe le pied de verse. Les draitubes seront orientés vers l'aval de la plateforme, dans le sens de la plus grande pente (0,5 % minimum).

Les eaux collectées seront ainsi évacuées vers les 3 trois regards de collecte, construits en aval.

Le dimensionnement du réseau de collecte des eaux de percolation a été vérifié par une étude de modélisation hydrodynamique de la verse et des réseaux de drainage.

Cette étude a permis également de simuler les débits de fuite à travers la barrière étanche placée sous les drains de collecte des eaux de percolation.

Les résultats obtenus lors de ces simulations montrent que le maintien d'un niveau de forte perméabilité au-dessus de la barrière étanche permet de limiter les débits de fuite à $1,3 \cdot 10^{-10}$ m/s, soit 10 m³/j.

Sur la base de cette simulation, le géocomposite de drainage couvrira la base de la verse (sur une superficie de 45 ha) avec des drains tubes espacés de 2 m formant un réseau en forme d'arêtes de poisson. Ainsi, les eaux interceptées par le réseau tertiaire seront évacuées vers le réseau secondaire puis vers le réseau primaire.

5.2.10.2 Description des puisards

Les trois puisards sont enterrés. Ils ont une longueur de 2,0 m, une largeur de 3,0 m et une épaisseur du radier et des voiles de 30 cm.

- ➔ La partie supérieure du puisard Nord est calée à la cote 159 m NGNC ; il est fondé à la cote 149,2 m NGNC, soit une hauteur totale de 3,2 m ; CF. Figure 90 et Figure 91 ;
- ➔ La partie supérieure du puisard centrale est calée à la cote 159 m NGNC ; il est fondé à la cote 141,50 m NGNC, soit une hauteur totale de 9,8 m ; CF. Figure 92 et Figure 93 ;
- ➔ La partie supérieure du puisard Sud est calée à la cote 151 m NGNC ; il est fondé à la cote 144,70 m NGNC, soit une hauteur totale de 6,3 m ; CF. Figure 94 et Figure 95.

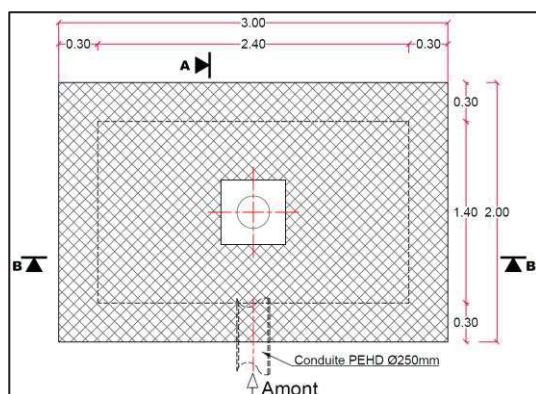


Figure 90 : Vue en plan du puisard Nord

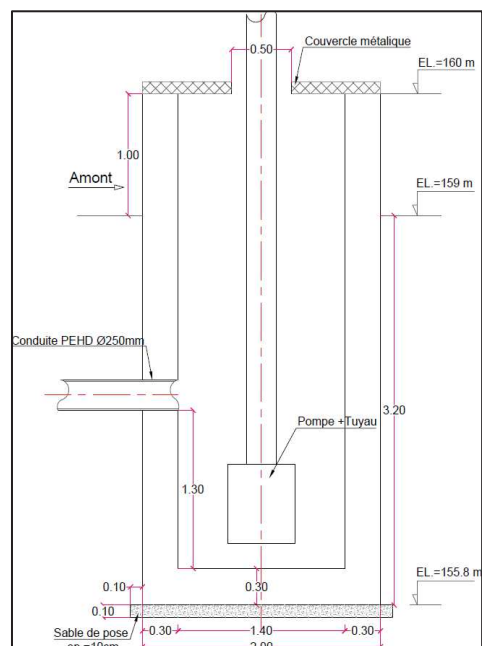


Figure 91 : Coupe longitudinale du puisard Nord

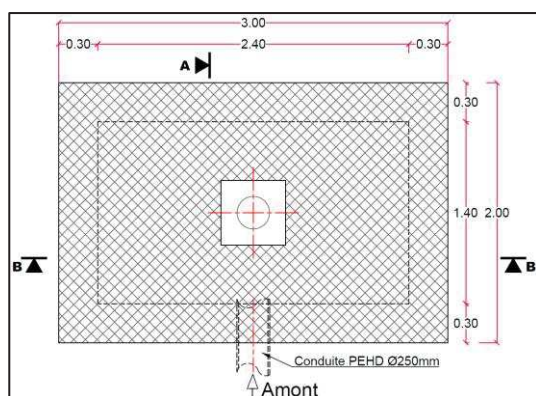


Figure 92 : Vue en plan du puisard central

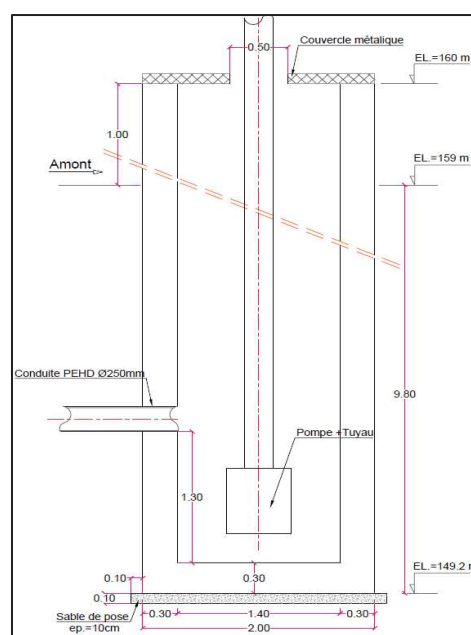


Figure 93 : Coupe longitudinale du puisard central

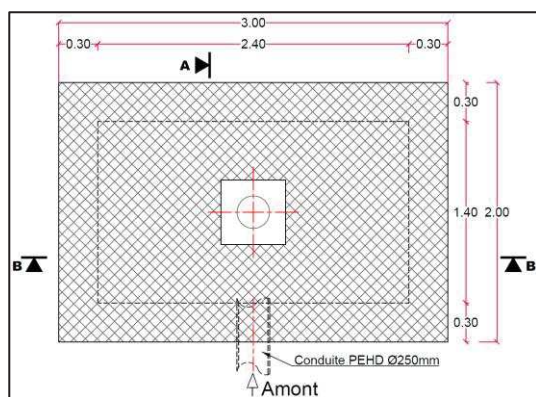


Figure 94 : Vue en plan du puisard Sud

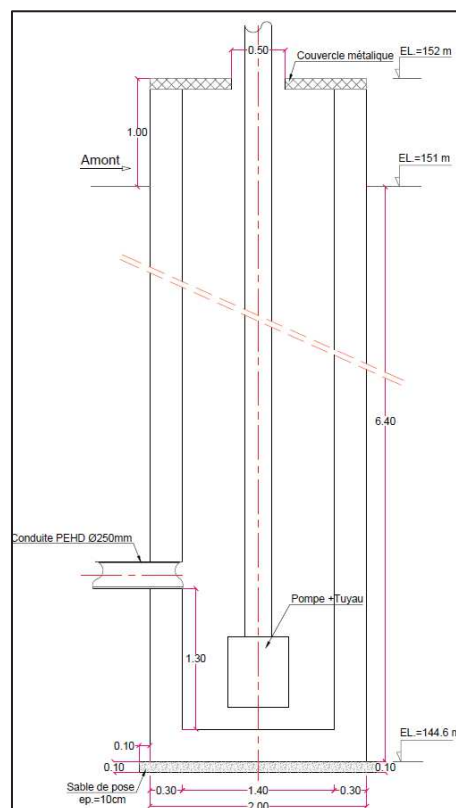


Figure 95 : Coupe longitudinale du puisard Sud

5.2.10.3 Critères de dimensionnement

Les caractéristiques de système de collecte des eaux d'infiltration sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tableau 72 : Caractéristiques de système de collecte des eaux d'infiltration

Elément		Description
<i>Caractéristiques hydrauliques du système de collecte des eaux d'infiltration</i>		
Flux de dimensionnement		1.10^{-9} m/s
Drain primaire	Nombre de bande	2
	Débitance	4.10^{-3} m ² /s
Drain secondaire	Nombre de bande	2
	Débitance	5.10^{-4} m ² /s
Drain tertiaire	Nombre de bande	1
	Débitance	5.10^{-4} m ² /s
Réseau Nord primaire	Enrochements	50/150 mm

Elément		Description
	Géotextile de filtration	350 g/m
	Enrochements	50/150 mm
	Section	1 m ²
Exutoires		Regards : Nord, Sud et Central

5.2.11 Conception initiale des bassins des eaux de contact

5.2.11.1 Description des bassins des eaux de contact

Afin d'assurer la collecte des eaux de pluies provenant de descentes d'eau, 3 bassins des eaux de contact seront construits : un bassin Nord, un bassin Central et un bassin Sud.

Les eaux de ruissellement seront acheminées vers les bassins des eaux de contact Nord puis Sud et puis transférés vers le bassin central.

Le transfert des eaux vers le bassin central est assuré par un système de conduites métalliques perforées « clarinettes », constitué d'une buse perforée, un regard de collecte des eaux et d'une conduite en PEHD ou en béton.

Les bassins des eaux contact sont munis à leur base, de haut en bas, de :

- ➔ Un système d'étanchéité ;
- ➔ Un système de détection de fuites ;
- ➔ Une couche d'étanchéité secondaire ;
- ➔ Un système de drainage des sous écoulements.

5.2.11.2 Description des regards des sous écoulements

- Regard des sous écoulements du bassin nord (NCWP)

Le regard des sous écoulements du bassin nord est un ouvrage enterré. Sa partie supérieure est calée à la cote 150,60 m NGNC et il est fondé à la cote 146,60 m NGNC.

Il a une longueur de 2,0 m, une largeur de 3,0 m et une hauteur de 4,00 m. L'épaisseur du radier et des voiles est de 30 cm.

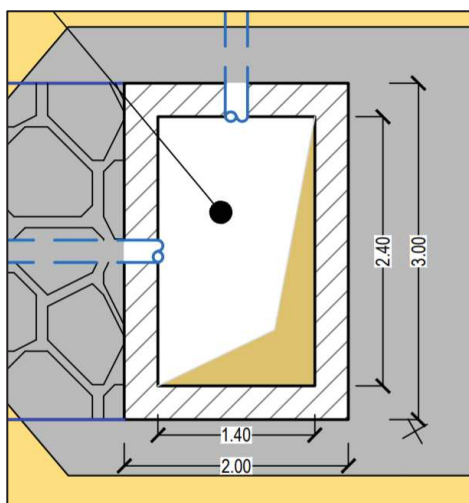


Figure 96 : Vue en plan du regard des sous écoulements du NCWP

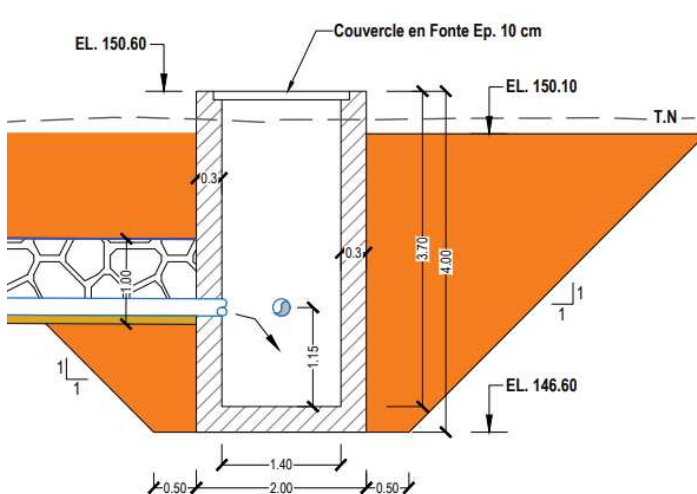


Figure 97 : Coupe longitudinale du regard des sous écoulements du NCWP

- Regards des sous écoulements du bassin sud (SCWP) et central (FCWP)

Ces ouvrages sont enterrés. Ils ont une longueur de 2,0 m, une largeur de 3,0 m et une épaisseur du radier et des voiles de 30 cm.

- ➔ La partie supérieure du regard du SCWP est calée à la cote 154,80 m NGNC et il est fondé à la cote 151,55 m NGNC, soit une hauteur totale de 3,25 m ;
- ➔ La partie supérieure du regard du FCWP est calée à la cote 148,75 m NGNC et il est fondé à la cote 141,50 m NGNC, soit une hauteur totale de 7,25 m.

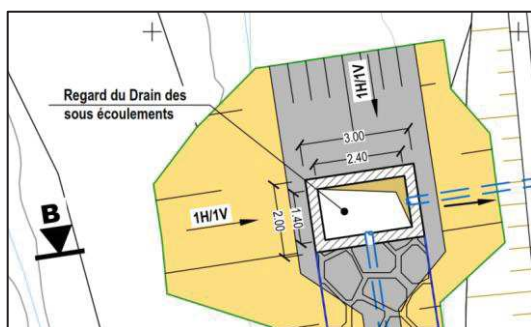


Figure 98 : Vue en plan du regard des sous écoulements du SCWP

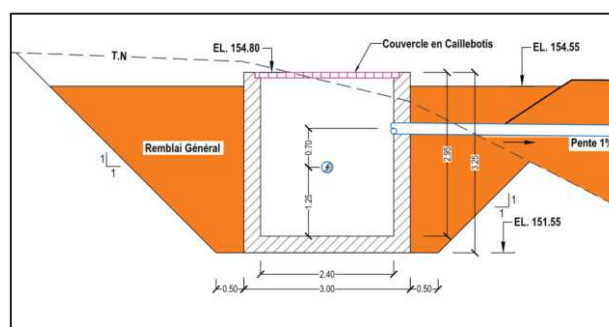


Figure 99 : Coupe longitudinale du regard des sous écoulements du SCWP

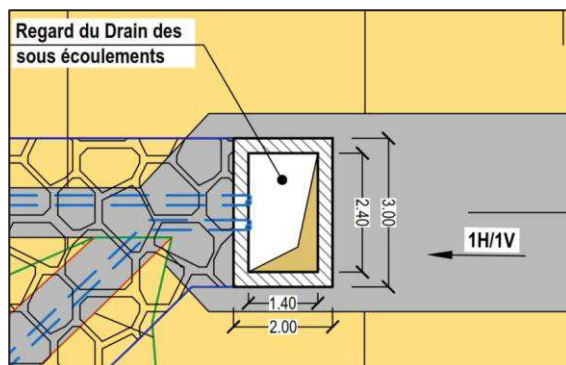


Figure 100 : Vue en plan du regard des sous écoulements du FCWP

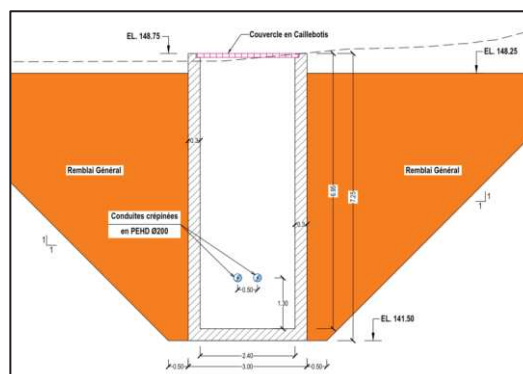


Figure 101 : Coupe longitudinale du regard des sous écoulements du FCWP

5.2.11.3 Critères de dimensionnement

Les dimensions des bassins et les capacités de pompages ont été dimensionnées de façon à limiter les débordements à 5% et ce conformément aux directives de l'IFC (International Finance Corporation ; World bank group) ⁸.

Les critères de dimensionnement des bassins des eaux de contact ainsi que les dimensions et les caractéristiques hydrauliques des ouvrages associés sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 73 : Caractéristiques des bassins des eaux de contact

Elément		Description
<i>Caractéristiques des bassins des eaux de contact</i>		
Bassin Nord	Hauteur maximale au niveau de l'axe de la digue	16 m
	Surface	5,82 ha
	Capacité totale	291 750 m ³
	Classification	C
Bassin Sud	Hauteur maximale	10 m
	Surface	2,3 ha
	Capacité totale	101 050 m ³
	Classification	C
Bassin Central	Hauteur maximale	6 m
	Surface	5,06 ha

⁸ Environmental, Health and Safety Guidelines for Mining; IFC, World Bank group; 2007

Elément			Description
	Capacité totale		137 000 m³
	Classification		C
<i>Caractéristiques du système d'étanchéité</i>			
Type			Double géomembrane PEBDL 60 mil (1,5 mm) ; Couche de 30 cm de latérites (couche secondaire).
<i>Caractéristiques du système de détection de fuites</i>			
Emplacement			Entre les deux couches de géomembrane
Matériaux	Géocomposite de drainage		Placée entre les deux couches de géomembrane
	Drains	Enrochements	50/150 mm
		Conduite	PEHD crépinée de diamètre DN 100 mm
		Géotextile	De séparation non tissé
Exutoire			Les eaux de fuite collectées seront pompées vers les bassins des eaux de contact
<i>Caractéristiques du système de drainage des sous écoulements</i>			
Drains	Enrochements		50/150 mm
	Conduite		PEHD crépinée de diamètre DN 200 mm
	Géotextile		De séparation non tissé
Exutoire			Regards de collecte équipés par un déversoir. Les eaux collectées seront déversées dans le milieu naturel après contrôle de la qualité.
<i>Caractéristiques de dispositif de pompage du bassin Central</i>			
Capacité de pompage	300 m³/h		
Rôle de dispositif de pompage	Refoulement d'eau soit : - Vers le parc à résidus KO2 et puis vers l'usine de traitement des eaux 285 ; - Vers l'UPM (Unité de Préparation des Minerais)		

Elément		Description
<i>Caractéristiques de l'évacuateur de crues provisoire du bassin des eaux de contact nord</i>		
Evacuateur de crues du bassin Nord	Temps de concentration Tc	72,5 min
	Q1000 entrant	39,4 m ³ /s
	Q sortant	31,7m ³ /s
	Largeur	20 m
<i>Caractéristiques de l'évacuateur de crues du bassin des eaux de contact central</i>		
Evacuateur de crues du bassin central	Temps de concentration Tc	44,9 min
	Q1000 entrant	38,6 m ³ /s
	Q sortant	37,9 m ³ /s
	Largeur	30 m
<i>Caractéristiques de l'évacuateur de crues du bassin des eaux de contact sud</i>		
Evacuateur de crues du bassin sud	Temps de concentration Tc	45,5
	Q1000 entrant	9,4
	Q sortant	8,3
	Largeur	20 m

5.2.12 Conception initiale de la piste d'accès au bassin des eaux contact Nord

Une piste est construite afin d'assurer l'accès au bassin d'eaux de contact Nord. Cette piste présente une largeur de 12 m, pour permettre la circulation des engins articulés 55t. Elle est constituée par :

- Une bande de roulement de 12 m de large, permettant une circulation à 2 sens ;
- Un accotement de 2 m de large, réservé pour le passage des conduites de refoulement vers le parc à résidus KO2 et des câbles électriques ;
- Deux glissières de sécurité de part et d'autre de la piste, selon la zone traversée;
- Deux dalots en béton armé placés au niveau des zones de franchissement ;
- Un canal en terre en déblai, couvert par une géomembrane pour permettre la collecte des eaux de contact et leur transfert vers le bassin Nord ;
- De deux dalots en béton armé qui seront aménagés au niveau de zones de franchissement.

Les dimensions des trois ouvrages de drainage (canal trapézoïdal et deux buses) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 74 : Caractéristiques des ouvrages de drainage de la piste d'accès au NCWP

Elément	Description
Canal trapézoïdal	
Largeur à la base (m)	4 m
Hauteur (m)	1 m
Dalots	
Largeur (m)	2 m
Hauteur (m)	1,5
Nombre d'alvéoles	2

6 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

Selon l'arrêté du 6 août 2018, fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages [37], l'EDD du barrage justifie la sécurité de celui-ci pour les situations anormales rares suivantes dès lors que de telles situations ont une probabilité de se produire chaque année qui est supérieure à 10^{-4} pour un barrage de classe A :

- ➔ Perte ou dégradation significative de sa capacité de drainage ;
- ➔ Perte ou dégradation significative de son étanchéité ;
- ➔ Perte ou dégradation d'une autre fonction importante de sécurité telle que mise en exergue par l'EDD du barrage.

Toutefois, lorsqu'une perte ou dégradation d'une autre fonction importante de sécurité concerne la défaillance d'un organe d'évacuation des crues et que le barrage subit une crue, la probabilité d'occurrence de cette combinaison d'événements ne doit pas excéder 10^{-4} .

6.1 Hydrologie

Le rapport d'étude « Parc à résidus Kwé Ouest (KO2) – Etude de dangers » réalisé par Artelia en février 2014 [3], qui reprend les informations de l'étude menée par Golder Associates en 2005, « The Design of the Hydraulic Structures for the KWRSF – Goro Nickel Project » [27], ainsi que le rapport « Updated KO2 Water Balance » réalisé par Hatch en 2018 [54], est pris comme référence pour le contexte hydrologique du parc à résidus.

Le bassin versant de la KO2 présente une surface d'environ 270 ha, soit :

- Le parc à résidus : superficie d'environ 140 ha dont :
 - 130 ha l'aire de stockage ; et
 - 10 ha le barrage ;
- Le bassin versant des eaux de ruissellement (eaux propres) : environ 130 ha, soit :
 - 54 ha correspondent au bassin versant nord ; et
 - 76 ha correspondent au bassin versant sud.

Le bassin versant de la KO2 représente un sous-bassin du bassin versant de la Kwé Ouest (1 810 ha) et est positionné sur le versant sud de celui-là. Aucun cours d'eau permanent n'est présent dans le périmètre strict de l'emprise de l'aire de stockage.

Dans le cadre des études de conception du parc à résidus KO2, la PMP a été estimée en utilisant les méthodes australiennes qui sont considérées comme étant le meilleur standard disponible pour les conditions cycloniques.

La Méthode Généralisée de Courte Durée (MGCD)⁹ a été utilisée pour estimer les hauteurs de précipitation PMP pour les événements d'une durée inférieure à 6 heures tandis que la Méthode Généralisée des Tempêtes Tropicales (MGTT)¹⁰ a été utilisée pour la PMP pour les événements d'une durée supérieure à 6 heures.

Les méthodes australiennes ont été appliquées à la Nouvelle-Calédonie en supposant que le bassin versant de Kwé est situé dans une zone tropicale de l'Australie sujette aux cyclones.

En effet, en se basant sur la carte de fréquence des cyclones, la latitude 16,5° Sud de la côte Est de l'Australie semble avoir une fréquence de cyclones similaire à celle de la Nouvelle-Calédonie

Les Précipitations Maximales Probables (PMP) obtenues sont présentées dans le Tableau 75.

Tableau 75 : Calcul des précipitations PMP

Durée (heure)	Hauteur de pluie (mm)
0.25	257
0.5	368
1	536
2	809
3	987
4	1118
6	1307
24	2400
36	2955
48	3465
72	4370
96	4890
120	5150

⁹ *The Estimation of Probable Maximum Precipitation in Australia - Generalised Short Duration Method*, Bureau de la météorologie, Juin 2003.

¹⁰ *Guide to The Estimation of Probable Maximum Precipitation - Generalised Tropical Storm Method*, Bureau de la météorologie, Mars 2004.

Les PMP ont été utilisées conjointement aux courbes IDF de récurrence 50 ans et 100 ans de Port Boisé pour interpoler les précipitations de récurrence intermédiaire (1000 ans et 10 000 ans) en utilisant les procédures d'interpolation australiennes¹¹.

Les intensités des précipitations calculées pour toutes les durées standards sont présentées dans le Tableau 76.

Tableau 76 : Intensité des précipitations (mm/h)

Durée (min)	Probabilité de non-dépassement							PMP (1:1,000,000)
	1:1	1:5	1:10	1:50	1:100	1:1,000	1: 10,000	
6	115.0	152.5	171.3	212.5	230.0	350.0	600.0	1400.0
15	88.0	118.0	133.0	166.0	180.0	260.0	444.0	1020.0
30	66.0	90.0	102.0	128.4	139.6	200.0	330.0	740.0
60	50.0	69.5	79.3	100.7	109.8	155.0	255.0	535.0
120	36.5	52.6	60.7	78.4	86.0	120.0	195.0	405.0
360	20.0	29.2	33.9	44.1	48.4	67.5	109.2	217.5
1440	9.0	14.3	16.9	22.8	25.3	35.4	55.0	100.0
2880	5.1	8.6	10.2	14.1	15.7	22.9	36.9	72.2
4320	3.7	6.3	7.6	10.5	11.8	17.4	29.4	60.7
5760	2.9	5.1	6.2	8.6	9.6	14.4	24.2	50.9
7200	2.5	4.4	5.4	7.5	8.3	12.4	20.4	42.9

Dans le cadre des études d'aménagement de l'évacuateur de crues du parc à résidus KO2, les valeurs de la Pluie Maximale Probable (PMP) ainsi que l'estimation du débit de crue de dimensionnement de l'ouvrage ont fait l'objet d'une vérification basée sur une analyse des données pluviométriques, disponibles de 1998 à 2021, à la station de l'ancienne pépinière (station retenue pour le projet Lucy) et ce moyennant l'utilisation de la méthode statistique de Hershfield et la méthode de PEARSON III qui est limitée à des périodes de retour inférieures ou égales à 10 000 ans.

La valeur de référence de la PMP, utilisée par Golder en 2009 et calculée moyennant la méthode Australienne MGTT (Méthode Généralisée des Tempêtes Tropicales), est de 2400 mm en 24h.

La méthode de Hershfield a donné une pluie maximale probable de 1724 mm pour une durée de 24h. Ce résultat confirme bien que la valeur donnée par MGTT qui est de 2400

¹¹ *Australian Rainfall and Runoff Vol 1, Book 6- Estimation of Large to Extreme Floods*, Institut des ingénieurs Australie, 2001.

mm/24 heures n'a pas été atteinte ou dépassée et ce en se basant sur les données d'observations des 23 dernières années.

De plus, les analyses réalisées ont permis de conclure que les pluies estimées par la méthode australienne MGTT pour les différentes durées et périodes de retour présentent des valeurs extrêmes comparables aux estimations calculées par les méthodes statistiques d'Hershfield et de PEARSON III.

Ceci constitue une assurance pour retenir la valeur de la PMP, de 2400 mm/j, comme valeur seuil à adopter dans le dimensionnement des grands ouvrages hydrauliques en Nouvelle-Calédonie, et particulièrement pour le dimensionnement de l'évacuateur de crues du parc à résidus KO2.

L'aléa hydrologique est retenu dans l'analyse de risques en combinaison avec l'aléa cyclone et pluviométrie ainsi que les éventuelles défaillances de l'évacuateur de crues et des fossés périphériques de dérivation des eaux de ruissellement.

6.2 Géologie et hydrogéologie

6.2.1 Description générale

Les contextes géologique et hydrogéologique du site sont détaillés dans la partie 3.

Le profil géologique du site de Goro présente un profil d'altération latéritique typique des régions tropicales humides. Ce processus d'altération est fortement influencé par les structures tectoniques cassantes comme les failles de types Horst-Graben.

Le site du parc à résidus et plus généralement la zone de Goro repose sur un substratum rocheux constitué de péridotites surmonté de formations secondaires dérivées de l'altération de la roche mère.

Le profil altéré présente une épaisseur très variable, atteignant plus de 50 m par endroits. La série latéritique type présentée sur la coupe suivante est constituée de ferricrête (grenaille de fer cimentée) en partie supérieure, recouvrant la limonite (silt argileux), qui évolue en profondeur vers la saprolite (substratum altéré). Enfin, à la base de la série, on retrouve le substratum rocheux.

Trois aquifères distincts sont décrits dans les formations locales identifiées sur le site de Goro :

- Un aquifère superficiel constitué de gravier argileux ;
- Un aquifère profond situé dans la couche de saprolite ;
- Un aquifère de fond dans les linéaments traversant la péridotite.

Dans le cadre du projet Lucy, lors du terrassement de la future verse à résidus les dolines observées devront être répertoriées et traitées.

Les méthodes mentionnées dans cette procédure de terrassement reprennent en partie celles utilisées pour la construction du barrage KO2.

Un contrôle qualité sera mis en place afin d'assurer un suivi en conformité avec la construction du projet Lucy.

Les anomalies seront traitées différemment suivant 3 cas :

- Présence d'une cavité ou d'un vide sous cuirasse ;
- Présence d'une doline ou d'une poche dont l'assise est compétente et connue ;
- Présence d'une doline ou d'une poche dont l'assise est non compétente et/ou inconnue et/ou dont le diamètre est supérieur à 5 mètres.

6.2.2.1 Présence d'une cavité ou d'un vide sous cuirasse

Les cavités dans la cuirasse sont principalement dues à un différentiel de pression entre 2 couches et non dues à un écoulement des eaux souterraines. La procédure de traitement est la suivante (Cf. Figure 103) :

- 1) Levé topographique et rapport photographique
- 2) Avis du géotechnicien pour acter le type de traitement à suivre.
- 3) Excavation de la cavité jusqu'à la latérite. Les bords seront excavés afin d'assurer leurs stabilités durant la construction et une rampe d'accès sera créée afin d'assurer une bonne mise en œuvre du remblai.
- 4) Inspection du fond de fouille par un géotechnicien ou son représentant
- 5) Remblais par couche de 30 à 50 cm (suivant les résultats de la planche d'essai) par un matériau de remblais général.

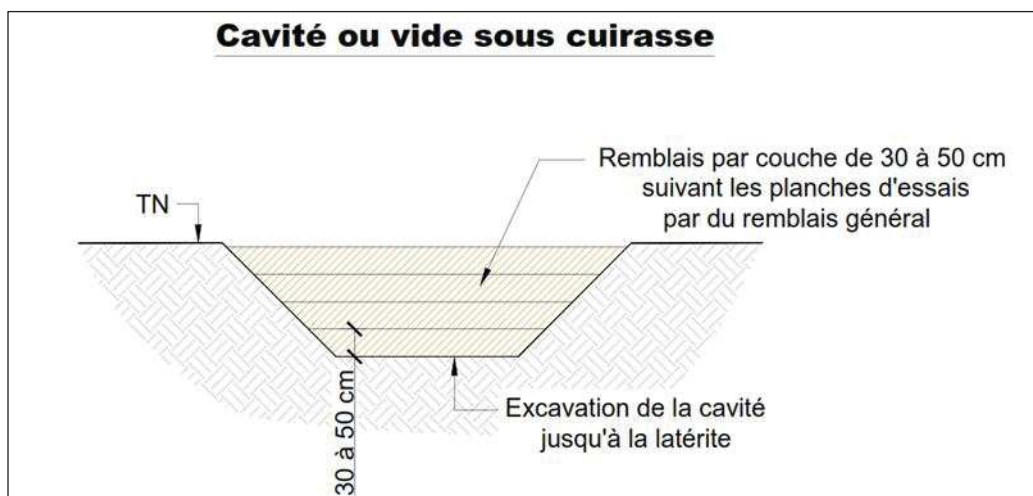


Figure 103 : Traitement d'une cavité ou d'un vide sous cuirasse

6.2.2.2 Présence d'une doline ou d'une poche dont l'assise est compétente et connue

Ce paragraphe concerne les dolines ou les poches dont l'assise est compétente et accessible par excavation (Cf. Figure 104). La procédure de traitement est la suivante :

- 1) Levé topographique et rapport photographique
- 2) Avis du géotechnicien pour acter le type de traitement à suivre.
- 3) Excavation de la doline jusqu'à l'identification du terrain en place sous-jacent à l'anomalie, par un géotechnicien. Les bords seront excavés afin d'assurer leurs stabilités durant la construction et une rampe d'accès sera créée afin d'assurer une bonne mise en œuvre du remblai.
- 4) Inspection du fond de fouille par un géotechnicien ou son représentant
- 5) Un géotextile résistant sera mis en place au fond de l'excavation
- 6) Remblais par couche de 30 à 50 cm (suivant les résultats de la planche d'essai) par un matériau de remblais général.

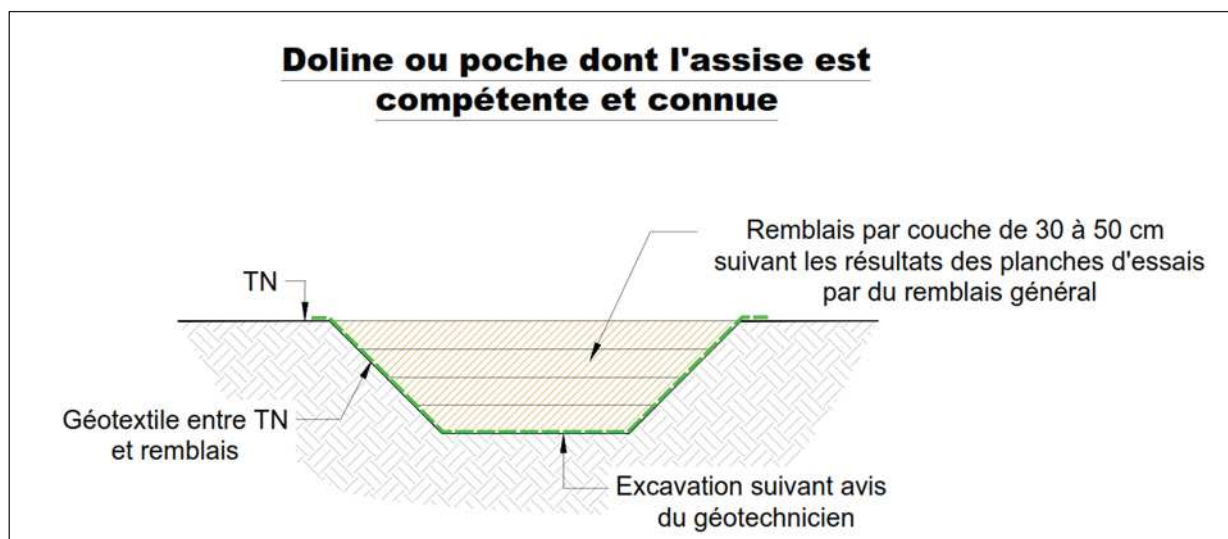


Figure 104 : Traitement des dolines ou poches dont l'assise est compétente et connue

6.2.2.3 Présence d'une doline ou d'une poche dont l'assise est non compétente et/ou inconnue et/ou dont le diamètre est supérieur à 5 mètres

Ce paragraphe concerne les dolines ou les poches de grandes profondeurs dont l'assise est non-compétente et/ou inaccessible (Cf. Figure 105). La procédure de traitement est la suivante :

- 1) Levé topographique et rapport photographique
- 2) Avis du géotechnicien pour acter le type de traitement à suivre.
- 3) Excavation de la doline jusqu'à une profondeur défini par un géotechnicien. Les bords seront excavés afin d'assurer leurs stabilités durant la construction et une rampe d'accès sera créée afin d'assurer une bonne mise en œuvre du remblai.
- 4) Inspection du fond de fouille par un géotechnicien ou son représentant
- 5) Un géotextile résistant sera mis en place au fond de l'excavation
- 6) Créer un drain horizontal avec du géotextile au contact du terrain naturel et du caillou à drain de type 50-150 mm jusqu'à une hauteur définie par le géotechnicien.
- 7) Levé topographique
- 8) Remblais de 50 cm de latérite compactées. Un levé topographique ainsi qu'un essai scissométrique (125 kPa) ou un essai à la plaque (30 MPa) devra être réalisés.
- 9) Remblais par couche de 30 à 50 cm (suivant les résultats de la planche d'essai) par un matériau de remblais général.

Au moment des travaux, les mesures de traitement pourront être revues et modifiées pour s'adapter aux conditions particulières de chaque doline ou anomalie. Il sera nécessaire que chaque traitement de doline ou anomalie soit suivi et contrôlé par un géotechnicien.

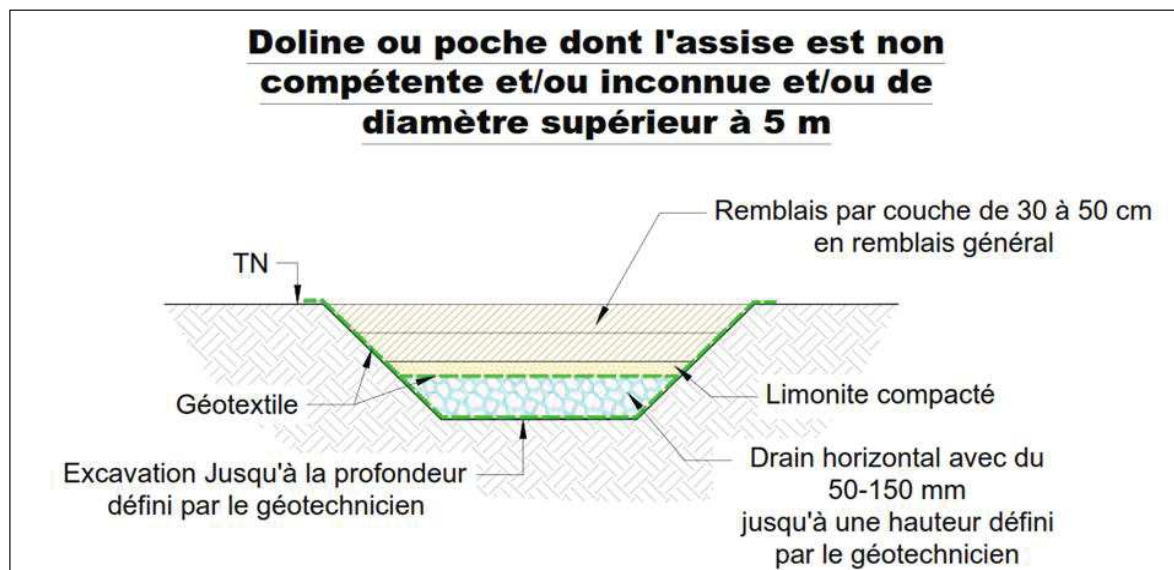


Figure 105 : Traitement de dolines ou les poches de grandes profondeurs dont l'assise est non-compétente et/ou inaccessible

Les aléas géologie et hydrogéologie, notamment la problématique dolines, sont retenues dans l'analyse des risques.

6.3 Erosion et stabilité des versants du parc à résidus

Les versants du parc à résidus sont sensibles aux érosions internes résultant principalement des phénomènes de dolines (cf. paragraphe 6.2.2), ainsi qu'aux érosions externes résultant des crues (cf. paragraphe 6.1 et 6.5.2.).

Les aléas glissement de terrain et éboulement sont donc retenus dans l'analyse de risque.

6.4 Séisme

La Nouvelle-Calédonie n'est pas couverte par la nouvelle carte d'alea sismique de la France, mais l'aléa y a été étudié à l'échelle régionale par le BRGM. Cependant, il n'existe à ce jour aucune règle de construction parasismique en Nouvelle-Calédonie [55].

Il est à noter que l'Arrêté métropolitain du 6 août 2018 [37], prévoit des valeurs forfaitaires pour les accélérations sismiques en fonction de la classe du barrage, classe de sol et zonage sismique. Dans certains cas, les accélérations sismiques de calcul peuvent être établis par des études spécifiques.

L'aléa séisme est retenu pour l'analyse de risque.

6.5 Cyclone

Les cyclones représentent les événements météorologiques les plus dangereux car ils sont associés à des vents forts, des pluies torrentielles, une houle cyclonique importante et des marées de tempête. Un ou plusieurs de ces aléas peuvent affecter en même temps une même région.

La situation géographique du site conduit à considérer le risque engendré par les cyclones tropicaux, potentiellement destructeurs. Compte tenu de la situation géographique du site et de son éloignement vis-à-vis de la côte, deux phénomènes sont à considérer :

- ➔ Vents violents ;
- ➔ Fortes pluies.

6.5.1 Prise en compte des risques liés aux vents violents

L'analyse des conditions météorologiques de la station de Yaté contenue dans la Demande d'Autorisation d'Exploiter des Installations Classées (ICPE), Volume III, section A « Etat initial » met en évidence les points suivants :

- Le site de Goro est dans une région où les températures moyennes mensuelles sont peu variables ; les pluies sont importantes (entre 1 500 et 3 000 mm/an) avec :
 - Une saison chaude et humide (novembre – avril) ;
 - Deux saisons de transition (avril - mai et septembre – novembre) ;
 - Une saison froide : (mai – septembre) ;
- La rose des vents met en évidence des vents dominants d'un secteur est/sud-est, vents qui sont plus fréquents au cours de la saison chaude ;
- Le "facteur de risque" concernant les conditions climatiques est celui dû aux cyclones. La période cyclonique s'étale de novembre à avril.

La conception des installations du site industriel est fondée sur 2 valeurs de vitesse de vent [20] :

- Equipements pour la sûreté prévus pour résister à une vitesse de vent de 58,5 m/s soit 210,6 km/h ;
- Autres équipements prévus pour résister à une vitesse de vent de 50,7 m/s soit 182,2 km/h.

En ce qui concerne le parc à résidus, les vents violents ont été intégrés dans l'évaluation des hauteurs de vagues dans le bassin. Ceci a permis de dimensionner la revanche du barrage dans la configuration de remplissage maximale afin de prévenir le risque de déversement.

Le site de PRNC dispose également d'un plan de réponse aux alertes cycloniques (« PRO-0810-MU-Plan d'urgence Cyclone et intempéries » d'après le Manuel EES [10]). La diffusion des différents niveaux d'alerte est maîtrisée par la Direction de la Sécurité Civile. Ils sont déclenchés en fonction de l'intensité et de la proximité du phénomène cyclonique.

Ce plan de réponse aux alertes cycloniques permet de définir les actions à mettre en place en fonction de l'évolution du niveau d'alerte dans le temps et ceci unité par unité. Ce plan de réponse s'est montré efficace lors du passage de Vania (14/01/2011) avec l'évacuation de 3 000 employés du site et la bonne mise en sécurité des installations. Concernant le parc à résidus, une surveillance particulière est effectuée sur les installations de stockage, et de transfert de résidus et des eaux d'exhaure (barrage, canalisations et pompes).

Pour la détermination de la revanche, qui représente la différence de cote entre la retenue et la crête du barrage, on considère la plus défavorable des deux configurations suivantes :

- Un vent de période de retour 50 ans soufflant sur une retenue à la cote de la PHE (229.8 m au 03/12/2018, [30]) ;
- Un vent de période de retour 1 000 ans soufflant sur une retenue à la cote de retenue normale RN (environ 229 m au 03/12/2018,[30]).

6.5.2 Prise en compte du risque d'inondations (crues)

De fortes pluies accompagnent généralement les dépressions tropicales ou les cyclones.

Une modélisation des événements probables de pluies exceptionnelles pour différentes périodes de retour a été réalisée par GHD en 2016 et repris par HATCH en 2018, [56] (voir Tableau 77). Ces valeurs sont sensiblement équivalentes à celles du rapport de conception initial de Golder en 2005.

Tableau 77: Modélisation de la pluviométrie maximale pour différentes périodes de retour et durée de précipitation [57]

Période (heures)	Période de retour (années)								
	2	5	10	20	50	100	1 000	100 000	PMP
	Hauteur des précipitations (mm)								
0,1	14	17	19	21	23	25	-	-	-
0,25	27	32	36	40	46	49	73	139	230
0,5	44	50	56	63	71	77	112	216	330
1	64	77	88	98	111	121	171	340	490
2	93	115	131	148	170	186	-	-	740
6	157	194	222	250	287	316	445	863	1188
12	-	-	-	-	414	456	656	1278	-

Période (heures)	Période de retour (années)								
	2	5	10	20	50	100	1 000	100 000	PMP
	Hauteur des précipitations (mm)								
24 (1j)	247	343	406	468	547	607	878	1658	2352
48 (2j)	288	413	490	571	677	754	1224	2189	3408
72 (3j)	310	454	547	641	756	850	1562	2686	4248
120 (5j)	360	528	648	756	900	996	1872	3024	5040
240 (10j)	432	624	792	960	1152	1296	-	-	-

La conception du barrage intègre l'ensemble des contraintes liées à l'accumulation d'eau de pluie dans le parc à résidus, ainsi que le ruissellement des eaux météoritiques sur les versants nord et sud.

Il est à noter que les débits de pointe pouvant être atteint au niveau de l'évacuateur de crues suite à une crue extrême et de ses structures sont les suivants [27]:

- Crue décennale : $Q_{10} = 38 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue centennale : $Q_{100} = 88 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue millénale : $Q_{1000} = 158 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Crue décamillénale : $Q_{10000} = 252 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ces débits ont été calculés à partir d'évènements pluviométriques extrêmes (Q_{10} à Q_{10000}) survenant sur toute la surface du bassin versant où se situe le Parc à résidus KO2 (soit 270 ha) et ont été utilisés pour sa conception.

L'aléa cyclonique (vents violents et fortes pluies/risque inondation) est pris en compte dans l'analyse de risque.

6.6 Foudre

Le niveau kéraunique en Nouvelle-Calédonie indique que le secteur de Nouméa est peu exposé au phénomène de foudre. l'EDD réalisée par Artelia en 2013 [3] considère que le Grand Sud est exposé à la foudre de la même manière que la zone de Nouméa car il n'existe pas de données spécifiques au site étudié.

Le niveau kéraunique étant plus faible qu'en France (12 sur Nouméa contre 20 en France) le risque d'impact lié à la foudre est également plus faible.

La foudre est un phénomène produit par le potentiel électrique de certains nuages. Le risque lié à la foudre est dû au courant électrique qui lui est associé. Celui-ci est impulsionnel et présente des fronts de montée en intensité de pente très verticale. Les effets varient en fonction des caractéristiques électriques des conducteurs parcourus par le courant.

En conséquence, les effets suivants sont possibles :

- Effets thermiques (dégagement de chaleur) ;
- Montées en potentiel des prises de terre et amorçage ;
- Effets d'induction (champ électromagnétique) ;
- Effets électrodynamiques (apparition de forces pouvant entraîner des déformations mécaniques ou des ruptures) ;
- Effets électrochimiques (décomposition électrolytique) ;
- Effets acoustiques (tonnerre).

La valeur médiane de l'intensité d'un coup de foudre se situe autour de 25 kA.

Au vu de ces éléments et au vu de la nature des installations concernées (barrage de rétention en terre), le risque foudre n'a pas été jugé significatif sur le barrage. Toutefois, le risque foudre sera considéré pour les pompes et autre équipement électrique qui concernent le fonctionnement de l'ouvrage.

L'aléa foudre est considéré dans l'analyse de risques.

6.7 Raz-de-marée

La Nouvelle-Calédonie peut éventuellement être affectée par un raz-de-marée généré par un séisme associé à la zone de subduction située au Nord-Est de l'île. Dans ce cas, l'onde marine déferlerait sur les hauts fonds situés à l'entrée du canal de la Havannah à 30 km au Nord-Est de la Baie de Prony où elle devrait être amortie.

En outre, le parc à résidus se situe à une altitude supérieure à 172 m. La zone n'est donc pas susceptible d'être affectée par un tel phénomène.

Cet aléa n'est donc pas retenu.

6.8 Incendie et feux de broussailles

Pendant la saison sèche, la zone de Goro et du Sud en général est une zone sensible aux feux de forêts et de broussailles. Cependant, le risque de propagation d'un feu de broussaille aux installations du parc à résidus est considéré très faible : les résidus et le barrage ne présentent aucun potentiel calorifique et la géomembrane n'est pas exposée directement à un feu de broussaille (loin de la végétation).

A noter qu'un départ de feu des installations électriques de pompage qu'elles soient sur la barge de pompage ou au puits de pompage aval ou encore dans la salle électrique ne créera pas de dégâts structurels sur le barrage et le parc à résidus. Seuls les moyens de pompage seront affectés.

Ce risque sera considéré dans l'analyse de risques.

7 ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE

Ce chapitre analyse les accidents externes survenus sur des bassins de stockage de résidus miniers humides et de résidus miniers asséchés.

7.1 Accidents survenus sur des zones de stockage de résidus humides

7.1.1 Présentation de la base de données utilisée

La présente analyse de l'accidentologie pour les installations de stockage de résidus miniers a été réalisée en consultant la base de données spécialisée « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures ».

Le site internet <http://worldminetailingsfailures.org/> (WMTF) établi par le Center for Sciences in Public Participation (CSP2), recense les ruptures depuis 1915. Il est régulièrement mis à jour. Le cœur de la base de données correspond aux travaux de l'ICOLD/UNEP. Elle est complétée par les données acquises par le site WISE et par les données propres au CSP.

Le bureau Riskope s'est basé sur les données du site WMTF pour constituer une base de données spécialisée et un rapport récapitulatif nommé « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures ».

La base de données répertorie des accidents sans limitation géographique, ayant eu lieu entre 1915 et 2016, sur des sites miniers exploitant différents minerais mais dont les résidus sont stockés en bassin.

7.1.2 Evolution temporelle du nombre d'accidents et répartition géographique

Les accidents survenus entre 1915 et 2016 sur des installations de stockage de résidus miniers répertoriés dans la base de données sont au nombre de 289. La Figure 106 illustre l'évolution du nombre d'accidents au cours du temps et leur répartition géographique, quel que soit le volume, le type, le mode de défaillance de chaque installation et le volume de résidus déversé en cas d'accident. Les accidents ont été regroupés par décennie sur l'axe horizontal, le nombre au sommet de chaque colonne correspondant au nombre d'accidents durant la décennie concernée, et par répartition géographique sur l'axe vertical. La largeur de chaque colonne est représentative du nombre d'accidents durant chaque décennie.

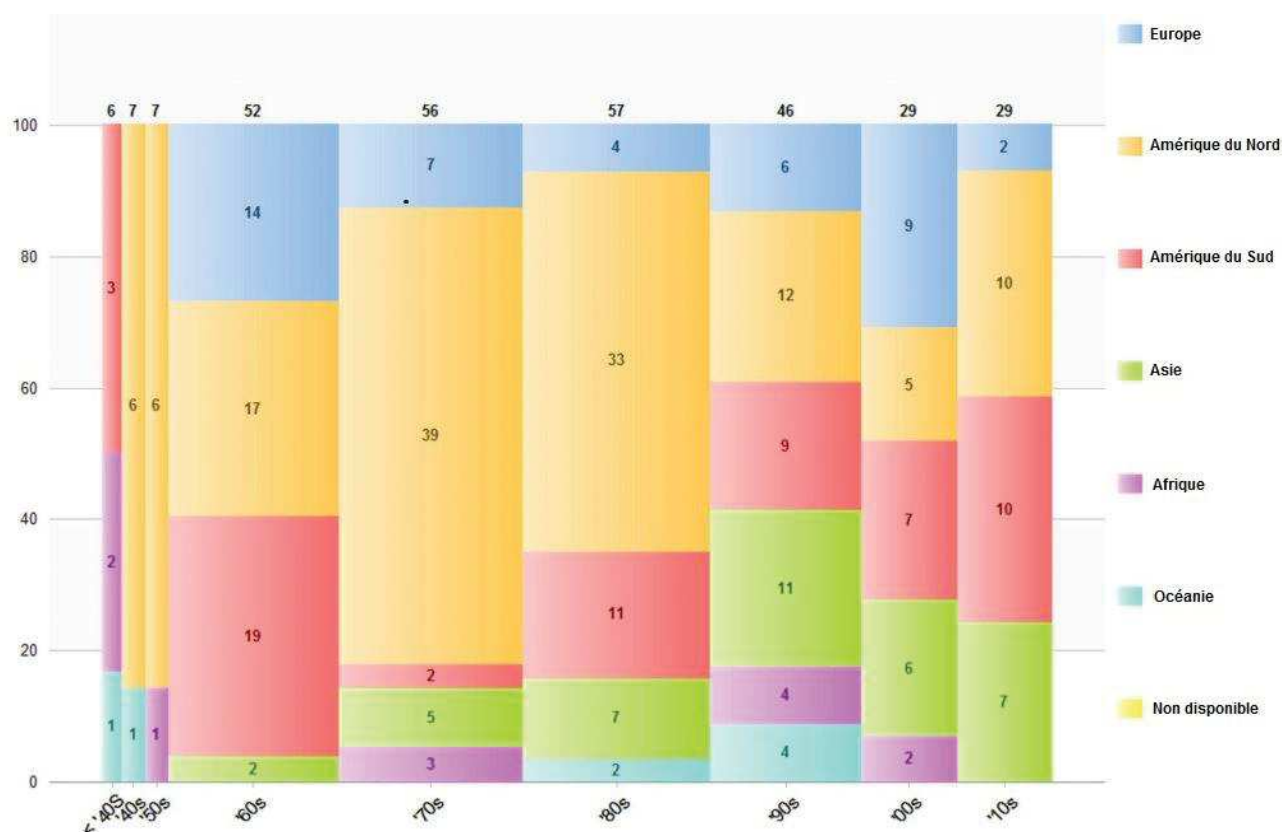


Figure 106 : Évolution du nombre d'accidents liés au parc de stockage de résidus au cours du temps et de leur répartition géographique (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)

Il convient de noter que le nombre total d'accidents a diminué passant de plus de 50 accidents par décennie dans les années 60 à 80, à moins de 30 par décennie depuis les années 2000, malgré l'augmentation du nombre de parcs à résidus miniers dans le monde.

7.1.3 Analyse des causes des accidents répertoriés

La Figure 107 et la Figure 108 illustrent en pourcentage respectivement les causes et les types d'accidents des 289 cas répertoriés.

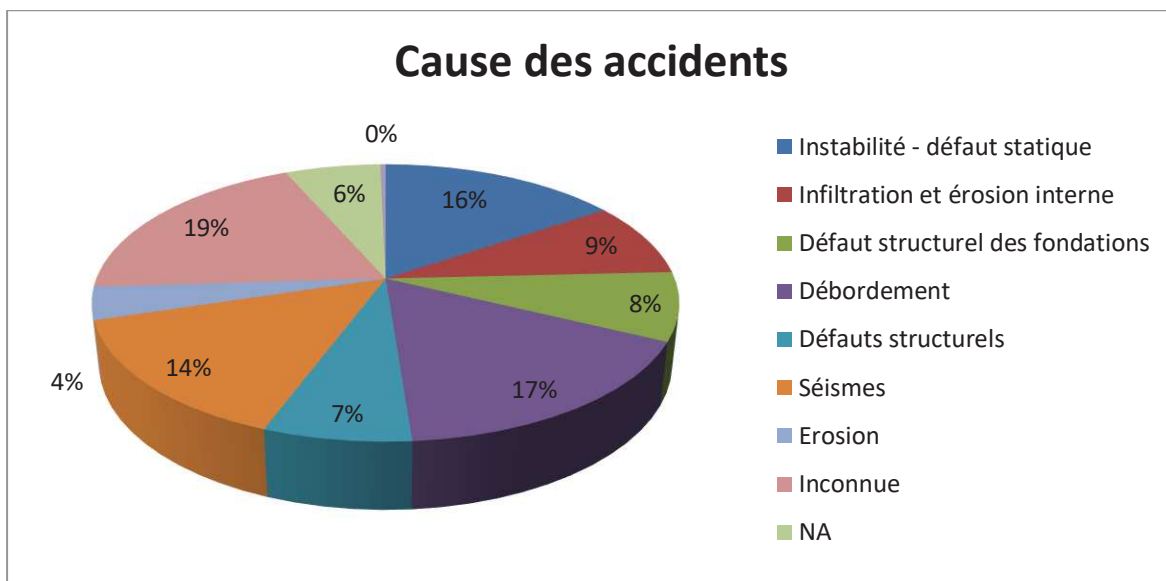


Figure 107 : Analyse des causes des accidents recensés (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)

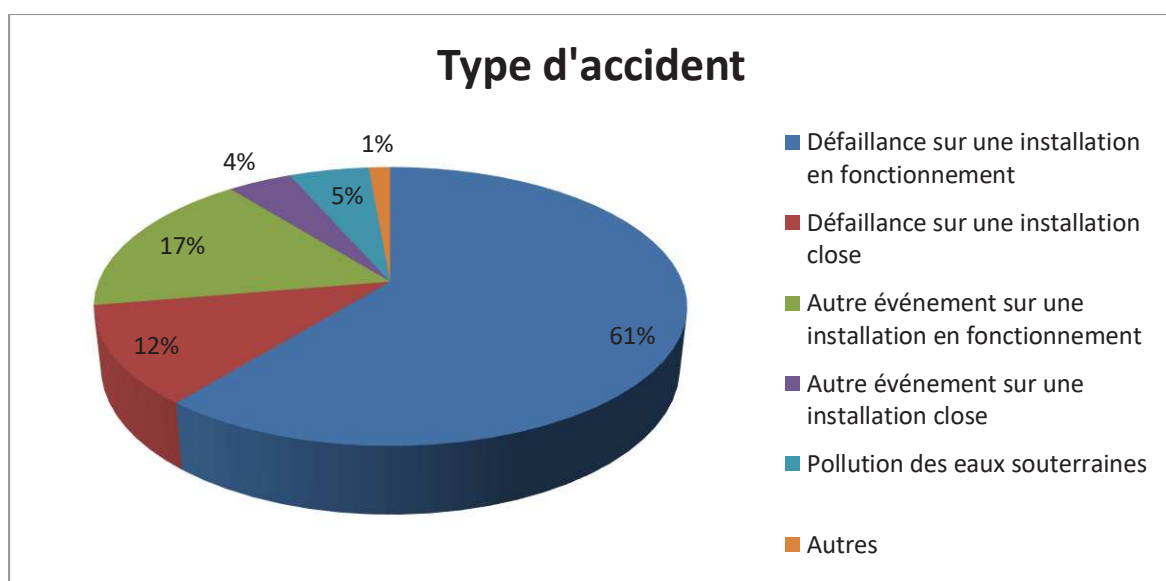


Figure 108 : Répartition des accidents recensés selon leur type (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)

Les défaillances répertoriées sont cinq fois plus nombreuses sur des installations en fonctionnement que sur des installations closes.

Concernant les causes des accidents répertoriés, il convient de noter qu'environ un quart des accidents n'a pas de cause identifiée. Il est néanmoins possible de dégager les tendances suivantes :

- ➔ Le débordement, les causes sismiques et les défauts statiques d'instabilité représentent les catégories de causes d'accidents les plus représentées : (48 des accidents répertoriés (soit 17%) ont été causés par un débordement, 42 sont la conséquence de causes sismiques (soit 14%) et 45 ont été causés par des défauts statiques d'instabilité (soit 16%) ;
- ➔ L'infiltration, les défaillances structurelles autres et les instabilités de fondations représentent les catégories les plus représentées en deuxième lieu : 20 accidents découlent de défaillances structurelles (soit 7%), 23 de défauts structurels des fondations (soit 8%), et 25 d'infiltration et érosion interne (soit 9%) ;
- ➔ L'érosion externe représente seulement 11 accidents, soit 4% des accidents recensés.

Dans près de la moitié des cas recensés dans la base de données utilisée, les matériaux de construction ou le type de construction ne sont pas connus. La répartition des ruptures de digues selon la méthode de construction adoptée (Figure 109) et le type de matériau utilisé (Figure 110), lorsqu'ils sont connus, est illustrée ci-dessous :

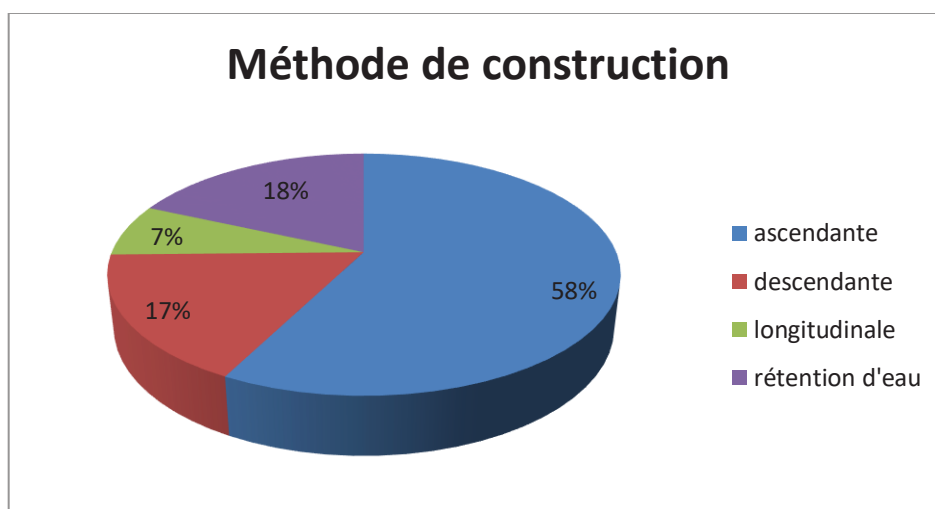


Figure 109 : Répartition des accidents recensés selon la méthode de construction de la digue lorsqu'elle est connue (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)

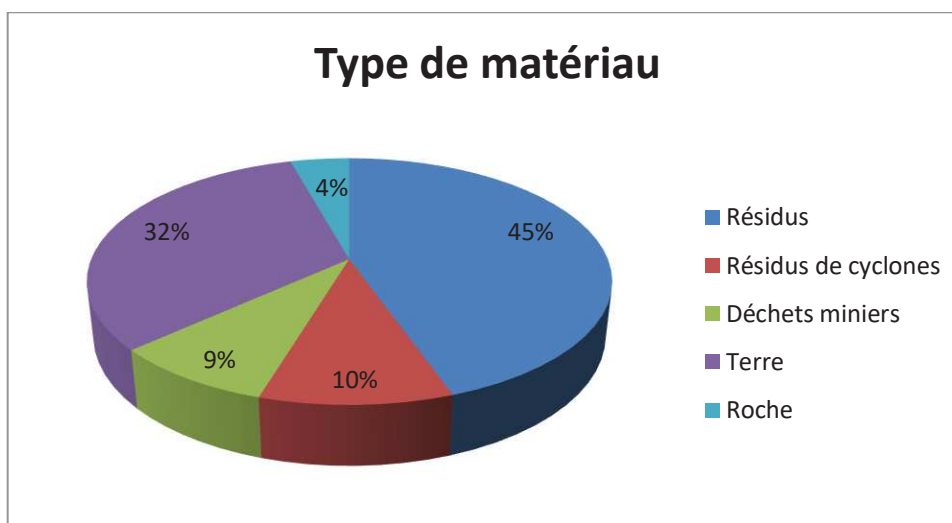


Figure 110 : Répartition des accidents recensés selon le type de matériau utilisé pour la digue lorsqu'il est connu (Source : « Hundred years of lessons learned in tailings dams failures », Riskope)

Lorsque le type de matériau de la digue est renseigné, 77% des cas de rupture de digue sont relatifs à des digues constituées de terre ou de résidus miniers. En ajoutant les résidus de cyclone, le total monte à 87% des accidents recensés.

Lorsque la méthode de construction est connue, 58% des digues incriminées avaient été construites selon le mode de construction « ascendante », alors que les digues construites selon la méthode « descendante » représentent uniquement 17% des ruptures de digues. Il est communément admis dans la profession que la méthode de construction « amont » ou « ascendante » d'une digue est particulièrement propice aux ruptures, en particulier dans les zones à forte sismicité (le Chili, par exemple, a interdit ce type de construction).

7.1.4 Etude de cas

Nous présentons dans ce chapitre, les principaux accidents survenus considérés pertinents pour l'étude.

7.1.4.1 Rupture du barrage de Brumadinho (Córrego do Feijão, Minas Gerais, Brésil 2019) (<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>)

Le 25 janvier 2019 vers 12 h 28 heure locale, le barrage de résidus BI de la mine de fer Córrego do Feijão de Vale SA, située à 9 kilomètres au nord-est de Brumadinho, dans l'État du Minas Gerais, au Brésil, a subi une rupture soudaine, entraînant une coulée de boue catastrophique qui s'est étendue rapidement en aval.

Plus de 250 personnes ont péri lors de la rupture du barrage, la majorité étant des employés de la mine. Les bureaux administratifs ainsi que la cantine et 132 wagons et locomotives ont été submergés par la coulée de boues. Une partie de Córrego do Feijão a été détruite avec notamment un hôtel, un pont et une centaine de mètres de rails. Cette catastrophe

écologique a également contaminé l'ensemble du lit de la rivière ainsi que les terrains agricoles en aval du site.

Cette rupture du barrage est unique dans le sens où il existe des images vidéo de l'événement qui donnent un aperçu du mécanisme de rupture. Les vidéos montrent clairement une rupture de pente à l'intérieur du barrage à partir de la crête et s'étendant jusqu'au-dessus de la première rehausse (batardeau). La rupture s'est étendue sur une grande partie du barrage et l'effondrement du talus s'est achevé en moins de 10 secondes, avec 9,7 millions de mètres cubes de matériaux (représentant environ 75 % des résidus stockés) s'écoulant du bassin de résidus en moins de 5 minutes.

Les analyses d'images satellites postérieures ont indiqué de lentes et essentiellement petites déformations. De plus, les déformations mesurées dans la partie inférieure du barrage comprenaient des déformations horizontales allant de 10 à 30 mm. De telles déformations sont compatibles avec un tassement lent et à long terme du barrage et ne seraient pas à elles seules le signe précurseur d'une rupture.

L'historique de construction du barrage donne un aperçu des raisons possibles de la rupture. Le barrage a été construit en utilisant la méthode de construction vers l'amont sur une période de 37 ans avec 10 rehausses. Aucune nouvelle rehausse n'a été construite après 2013 et la déposition des résidus a cessé en juillet 2016. Le batardeau contenait des éléments qui empêchaient le drainage à travers le pied du barrage. Aucun drainage interne important n'a été installé lors de la construction des élévations ultérieures.

Après la troisième rehausse, un retrait a été construit pour redresser l'alignement de la crête du barrage. Le retrait a réduit la pente globale du barrage mais a aussi rapproché la partie supérieure du barrage de l'étang et aussi du futur niveau d'eau interne. Des images aériennes et satellitaires antérieures à la rupture montrent que, parfois au cours de la vie du barrage, l'eau était proche de la crête du barrage, conduisant à la percolation de résidus fins et grossiers à l'intérieur du barrage.

L'absence d'installations significatives de drainage, associées à la présence de couches de résidus fins, moins perméables à l'intérieur du barrage lui-même, a induit un niveau d'eau élevé dans le corps du barrage. Des exfiltrations dans le talus du barrage, au-dessus du pied ont été observées périodiquement à partir de la construction de la quatrième rehausse.

La commission des experts a mené de nouvelles enquêtes pour fournir des informations sur les matériaux à l'intérieur et sous le barrage. Les résidus à l'intérieur du barrage avaient une teneur en fer (très élevée (supérieure à 50%), avec très peu de quartz (moins de 10%). Ce qui a donné aux résidus un poids unitaire total élevé d'environ 26 kN/m³. Les données de CPTu, ainsi que les poids unitaires et les pressions d'eau interstitielles, indiquent que les résidus étaient principalement meubles et saturés.

L'enquête s'est concentrée sur les déclencheurs possibles d'une perte soudaine et rapide de la résistance capable de provoquer la rupture globale vue dans la vidéo. Il a été reconnu que les facteurs déclencheurs pouvaient être relativement limités, étant donné les contraintes de cisaillement élevées et la nature friable des résidus à l'intérieur du barrage avant la rupture.

Aucun tremblement de terre n'a été enregistré dans la région le jour de l'accident. Par conséquent, les tremblements de terre et les explosions n'ont pas été les déclencheurs de la rupture. Entre octobre 2018 et la date de la rupture, neuf forages ont été réalisés dans la région centrale et supérieure du barrage. Le barrage n'a montré aucun signe de défaillance lors de ces forages et aucune déformation liée au forage n'a été détectée.

Cependant, de fortes précipitations pendant la saison humide annuelle ont probablement entraîné une perte du potentiel hydrique, entraînant une légère réduction de la résistance. Des simulations informatiques ont montré une faible perte de résistance (jusqu'à 15 kPa) dans la zone non saturée pouvant contribuer à la rupture. Les simulations informatiques ont en outre montré que le fluage interne, combiné à la perte du potentiel hydrique évoquée ci-dessus, serait suffisant pour déclencher la rupture globale observée du barrage le 25 janvier 2019, un phénomène connu sous le nom de « rupture par fluage ».

En résumé, l'historique suivant a créé les conditions d'instabilité du barrage :

- ➔ Une conception qui s'est traduite par une pente raide et une construction en amont ;
- ➔ Une gestion de l'eau dans le bassin de la retenue qui permettait parfois à l'eau des bassins de s'approcher de la crête du barrage, entraînant le dépôt de résidus meubles près de la crête ;
- ➔ Un retrait dans la conception qui a poussé les parties supérieures de la pente sur des résidus fins plus lâches ;
- ➔ Un manque de drainage interne important qui a entraîné un niveau d'eau constamment élevé dans le barrage, en particulier au niveau du pied ;
- ➔ Une forte teneur en fer, entraînant des résidus lourds avec une liaison entre les particules. Cette liaison a créé des résidus raides qui étaient potentiellement très friables en condition non drainés ; et
- ➔ Des précipitations régionales élevées et intenses pendant la saison des pluies qui ont pu entraîner une perte importante du potentiel hydrique, produisant une perte de résistance dans les matériaux non-saturés au-dessus du niveau de l'eau.

La commission des experts a conclu que la perte soudaine de résistance et la rupture du barrage qui en résulte étaient dues à une combinaison critique de contraintes internes continues dues au fluage et à une réduction de la résistance due à la perte du potentiel hydrique dans la zone non saturée causée par les précipitations intenses qui ont eu lieu fin 2018 dans le secteur du site.



Figure 111 : Vues avant/après de la rupture du parc à résidus

7.1.4.2 Rupture de 2 barrages de stériles miniers (Brésil/2015) (<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>)

Exploitée par Samarco Mineração SA, une filiale de BHP Billiton et de Vale, la digue de Fundão fait partie du complexe minier de Germano, localisé dans le district de Santa Rita Durão, dans la municipalité de Mariana au Brésil. Cette digue a été réalisée selon la méthode de construction ascendante.

La digue de Fundão, intégrée à l'installation de stockage des résidus de la mine de fer, s'est rompue le 5 novembre 2015. La crête de la digue avait alors atteint 110 m de hauteur.

Plusieurs dizaines d'opérateurs travaillaient sur ou près de la digue au moment de l'accident. Certains extrayaient et répandaient des résidus pour élever la digue, d'autres construisaient des caniveaux de drainage en prévision d'une prochaine étape de construction, et d'autres effectuaient les tâches de maintenance quotidiennes de la digue.

Des secousses sismiques de magnitude comprise entre 1,8 et 2,6 avaient été ressenties peu après 14 heures pendant quelques secondes. Aucun dommage sérieux n'avait été constaté et les opérations avaient repris. A 15h30, une brèche se forme sur la digue. La vidange du réservoir commence, mais l'ouvrage se rompt à 16h20. La retenue se vide dans la vallée en aval, submergeant une seconde digue aval, la digue de Santarem. Une coulée de boue, d'environ 60 millions de tonnes (32 millions de mètres cubes, soit 61% du contenu du réservoir), engloutit le village de Bento Rodrigues, situé à 2,5 km en aval de la digue et

comptant environ 620 habitants. La trajectoire de l'écoulement de boue s'est ensuite prolongée jusqu'à la côte atlantique distante de 650 km.



Figure 112 : Village de Bento Rodrigues après la rupture de la digue de Fundão (Source : TV Senado)

L'exploitant prévient certains riverains par téléphone, mais sa liste est incomplète. Il ne dispose pas de sirènes d'alarmes comme le veulent les bonnes pratiques de l'activité. Aucun plan d'alerte aux populations ni d'évacuation n'a été prévu.

L'accident a causé la mort de 19 personnes et blessé 50 personnes.

Les résidus, décrits comme non toxiques par l'exploitant, se sont répandus dans le fleuve Rio Doce. Plusieurs autres rivières ont été polluées tout comme plusieurs zones naturelles protégées. La pollution engendrée a causé la mort de millions de poissons. La pollution s'est étendue jusqu'à l'océan Atlantique distante de 650 km. L'embouchure du fleuve, réputée pour son écotourisme et zone de reproduction d'une espèce de tortue marine géante, a été touchée. L'alimentation en eau potable a été coupée pour 280 000 personnes.

Les témoignages oculaires et les enregistrements vidéo permettent d'établir plusieurs constats. Tout d'abord la rupture de la digue s'est initiée sur le côté gauche de celle-ci, qui n'était pas son point le plus aval. Le second constat est que la rupture est survenue à cause de la liquéfaction des résidus. Finalement, il convient aussi de relever que la transformation solide-liquide des résidus a été brusque et complète, produisant un fluide dont la viscosité apparente et le comportement hydraulique était peu différent de celui de l'eau.

Une analyse des causes de l'accident a été commandée par BHP Billiton Brasil Ltd., Vale S.A. et Samarco Mineração S.A. Un panel d'experts a été mandaté pour conduire cette investigation des causes de la rupture de la digue de Fundão.

Le rapport final attribue la rupture aux modifications apportées au concept original de la digue, lequel utilisait des résidus sableux insaturés pour soutenir les résidus de schlamms fins moins résistants, et reposait sur une séparation d'au moins 200 mètres entre le dépôt sableux et les schlamms. Les ingénieurs de Samarco ont commencé à découvrir les défauts de construction dans les structures de drainage peu de temps après l'entrée en service de la digue de retenue en 2009.

La conception du canal de drainage créé pour le remplacer n'a fait que renforcer la saturation dans les résidus sableux.

Lorsque la digue conçue pour les sables a été placée en retrait par rapport à son alignement original pour s'adapter aux réparations effectuées en aval, la séparation de 200 mètres n'a pas été respectée.

La proximité des schlamms fins a donc empêché le drainage dans les sables.

La hauteur croissante de la digue a pesé sur la zone riche en schlamms fins. « La saturation du bassin a imposé une forte pression sur les schlamms fins les moins durs », déclaraient les enquêteurs. « Ils se sont déformés latéralement, provoquant un écoulement dans un processus que l'on appelle " extrusion latérale ". Les sables se trouvant juste au-dessus, contraints de suivre ce mouvement, ont subi une réduction de la pression horizontale qui les confinait. Ceci a entraîné le tassement des sables et dans le processus, leur effritement. »

Ce tassement et cette saturation ont provoqué la liquéfaction des sables, entraînant l'effondrement qui a détruit la digue. D'après la modélisation informatique et en laboratoire effectuée par les enquêteurs, le moment auquel cet effondrement devait se produire correspondait à peu près à la hauteur de la digue au moment même de la rupture. Ils concluaient qu'une série de tremblements de terre s'étant produits peu de temps avant la rupture avaient très probablement accéléré le processus déjà en cours (<https://magazine.cim.org/fr/environnement/the-genesis-of-a-disaster/>).

7.2 Accidents survenus sur des zones de stockage de résidus asséchés

Les seules bases de données disponibles sur l'historique des accidents de rupture de verses de stériles miniers concernent la Colombie-Britannique au Canada (Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design).

Golder Associates Ltd a compilé une base de données contenant les enregistrements de 48 accidents qui ont eu lieu entre 1968 et 1993. Scott Broughton a compilé plus tard une base

de données contenant des enregistrements de 44 accidents qui se sont produits entre 1979 et 1991.

Le ministère de l'Énergie et des Mines de la Colombie-Britannique a compilé ces données enregistrées entre 1968 et 1991 (73 incidents) et a continué d'enregistrer les incidents signalés entre 1992 et 2005 (122 incidents).

Les principaux incidents concernant les ruptures de verses en Colombie Britannique sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 78 : Scénarios de rupture pour un stockage en verse (cas réel en Colombie Britannique)

Nom de la verse	Année	Cause	Volume mobilisé en m ³	Dégâts observés
Verse « A »	1979	La verse était active au moment de la rupture. La verse « A » faisait 45 m de hauteur. Le chargement rapide de la verse a généré des fortes surpressions interstitielles ce qui a induit un glissement au niveau de la zone de contact avec la fondation.	10 500	Aucuns dégâts humains et matériels enregistrés
Verse WN	1987	Une forte cadence de stockage a augmenté la pression interstitielle au niveau des matériaux de l'assise et a provoqué la rupture au niveau de la zone de contact avec la fondation	5 600 000	Aucuns dégâts humains et matériels enregistrés
Verse Nord	1989	Liquefaction causée par une forte cadence de stockage et une mauvaise qualité des matériaux constituant l'assise.	2 000 000	Aucuns dégâts humains et matériels enregistrés
Shikano -Verse Sud	1990	Liquefaction des sables suite à une montée de la pression interstitielle et une augmentation du niveau de la nappe par la refonte de la neige.	1 500 000	Environ 10 % des résidus ont été déversé dans la rivière Murray.
Brownie	1991	Rupture par glissement au niveau de la zone de contact avec la fondation causée par une montée des pressions interstitielles	30 000 000	Aucuns dégâts humains et matériels enregistrés
Verse -1956	2003	Rupture circulaire par glissement Ce glissement mobilisant près de 700 000 m ³ de matériaux a été généré suite à l'accumulation d'eau due à la pluie et à la fonte de la neige.	700 000	Aucuns dégâts humains et matériels enregistrés

7.3 Accidentologie interne : parc à résidus KO2

7.3.1 Recueil des accidents et incidents

Le tableau ci-dessous décrit les incidents et/ou accidents survenus sur le parc à résidus KO2 et recensés dans les documents transmis.

Tableau 79 : Incidents survenus sur le parc à résidus KO2 (EDD KO2 2019)

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
Evènements tirés de l'EDD du parc à résidus (2013)			
2010	<p>Alors que le barrage atteignait une hauteur de 39 m soit une cote altimétrique de 210 m NGNC, il a été constaté un tassement d'environ 10% (3,90 m).</p> <p>Il est à noter que l'estimation des tassements a été réalisée à partir d'une campagne d'investigations géotechniques dont les sondages ne sont pas descendus assez profonds pour suffisamment apprécier l'épaisseur de la formation saprolitique, qui est de compressibilité élevée.</p>	Risque que le tassement se poursuive et entraîne des dégâts sur la structure du barrage, du système de drainage et d'étanchéité	<p>Poursuite de l'auscultation.</p> <p>Les études, expertises et suivis d'auscultation réalisés par le concepteur de l'ouvrage indiquent que cet important tassement s'est aujourd'hui stabilisé.</p>
2011	<p>Suite au passage du cyclone Vania, des résidus se sont infiltrés sous la géomembrane en fond de vallée. La géomembrane était en cours de mise en place. Elle n'était alors pas correctement plaquée au fond de la vallée.</p> <p>L'infiltration des résidus dans le milieu naturel a été constatée dans les drains sous la géomembrane. Une conductivité très élevée (environ 8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été détectée pendant plus d'un mois.</p>	Rejet à l'environnement	
2012	<p>A la suite de fortes précipitations, des résurgences ont été observées à différents emplacements dans les talus de la Kwé Ouest. Ces résurgences ont causé des dommages sur les talus : rupture de drains avec érosion de la limonite entraînant un décollement de la géomembrane.</p> <p>Il a été conclu que, du fait du système pseudo-karstique présent et l'intensité des précipitations, le système de drainage existant ne pouvait pas gérer efficacement certains écoulements importants.</p>	<p>Erosion des talus de l'aire de stockage et perte d'étanchéité.</p> <p>L'augmentation des pressions interstitielles dans les talus interne de l'air de stockage pourraient entraîner une baisse du facteur de stabilité des talus et un glissement dans l'aire de stockage. Une vague pourrait être créée par ce glissement et entraîner un débordement du barrage.</p>	<p>Des études ont été réalisées afin de trouver des solutions pour gérer l'écoulement des eaux souterraines se rapportant aux talus finis, le but étant d'éliminer le potentiel d'érosion de la fondation et les dommages sur la membrane d'étanchéité.</p> <p>Un système de drainage a été installé sous les talus et banquettes de l'aire de stockage constitué d'un tapis drainant, de stations de décharge et de 2 drains horizontaux sous les banquettes 206,5 et 220 m.</p> <p>En cas d'instabilité des talus internes de l'aire de stockage et de glissement de talus, l'évacuateur de</p>

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
			crue est dimensionné pour évacuer une augmentation du niveau d'eau créé par une crue Q1000 ans en phase d'exploitation et éviter un débordement du barrage.
2013	<p>En janvier, alors que le parc à résidus était en exploitation normale, durant une opération de transfert des eaux d'exhaure du parc vers l'usine, les pompes de la barge se sont arrêtées automatiquement faute de débit (débitmètre installé 500 m en aval des pompes).</p> <p>Après plusieurs tentatives de redémarrage des pompes, il a été observé un écoulement important en bordure de géomembrane sur le flanc Nord du parc à résidus qui se dirigeait par gravité vers l'intérieur du parc.</p> <p>Cet écoulement provenait d'une fuite importante au niveau d'un tronçon enterré de la canalisation des eaux d'exhaure. Ce tronçon enterré était situé entre la barge et la crête de la berge, sous le flanc Nord du parc, en amont du débitmètre.</p>	Risque d'érosion du parement amont du barrage, de phénomène de piping dans les matériaux constitutifs et de rupture du barrage.	Des travaux d'urgence ont conduit au remplacement du tronçon enterré par une canalisation aérienne reposant sur la géomembrane. Cette solution facilite la maintenance de ce tronçon, auparavant inaccessible.
2013	<p>En mai, lors d'une inspection de la géomembrane par les opérateurs suite à un changement du point de déposition des résidus, il a été constaté au droit de l'ancien point de déposition :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Lessivage du ballast de protection situé en aval ; ➔ 3 perforations de la géomembrane sur le flanc au niveau du talus ; ➔ Plusieurs déchirements d'une soudure entraînant l'infiltration de résidus sous la géomembrane. <p>Après évaluation sur le terrain, il apparaît que cette infiltration s'est répandue sous la géomembrane au niveau de la banquette 195 m sur environ 20 cm d'épaisseur en moyenne et sur une surface d'environ 1 500 m² (50 m X 30 m).</p> <p>La déchirure de la géomembrane est liée à la vibration excessive de l'ourlet de la soudure entre deux lés de géomembrane. Cette soudure a été exposée au flux de résidus à la suite d'un lessivage du ballast de protection. Ce ballast étant situé sur la bordure latérale de la</p>	Rejet à l'environnement, destabilisation de talus et d'avantage d'endommagements sur la géomembrane.	Réparation des dégâts causés sur la géomembrane et la banquette.

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
	protection initiale, il a raviné et été lessivé par des débits trop importants générant un panache d'écoulement plus large que prévu.		
<u>Evènement tiré du dernier rapport d'auscultation transmis à Golder datant de juin 2019</u>			
2016-2019	<p>Incident enregistré par le réseau d'auscultation du barrage lors du premier semestre 2016 = forte augmentation des pressions interstitielles dans la zone 1A du corps du barrage. Depuis lors, cette évolution semble correspondre à l'augmentation du niveau des résidus humides dans l'aire de stockage, ainsi qu'au variations saisonnières.</p> <p>La cause probable de cette augmentation serait la présence d'un ou plusieurs trous dans la géomembrane au travers duquel/desquels l'eau du bassin s'infiltrerait et engendrerait une augmentation de la pression interstitielle dans les matériaux de la Zone 1A.</p> <p>Les coefficients de sécurité de la face amont du barrage sont acceptables d'après une mise à jour de l'étude de stabilité de 2017.</p>	Risque d'infiltration dans le corps du barrage et de phénomène de piping à travers les autres zones de remblais, puis de rupture du barrage	<p>Surveillance renforcée de l'auscultation du barrage (seule action tant que les niveaux piézométriques ne dépassent pas les seuils définis).</p> <p>Depuis la fin du mois d'avril 2019, il est noté une baisse globale des pressions interstitielles dans la zone 1A. Il est possible que les trous ayant générées ces hausses de pressions au sein de la zone 1A, aient été colmatés par les résidus déposés.</p> <p>Les valeurs de pressions interstitielles demeurent inférieures aux seuils définis.</p>
<u>Evènements tirés du compte-rendu de la visite technique approfondie du 04-12-2018 au 05-12-2018</u>			
2017	La rupture de la ligne de déposition sud (S01 à dog leg 3) est survenue le 11 mars 2017.	<p>➔ Erosion et endommagement des talus et banquettes au sud de l'aire de stockage, en aval de la zone de rupture de la ligne de dépôt.</p> <p>➔ Risque de dégradation de la géomembrane et d'infiltration dans le milieu naturel.</p>	Arrêt de la déposition via la ligne rompue et déposition via les autres lignes de déposition en attendant la réparation de la ligne.

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
2017	<p>Le 8 juin, une perforation de la géomembrane a lieu à l'occasion de travaux dans le parc à résidus (récupération de portions de tuyau semi-noyées). D'importantes infiltrations de résidus humides ($> 100 \text{ m}^3/\text{h}$), drainées par le système de drains sous la géomembrane des secteurs 2 et 3, se retrouvent à leur exutoire, au puits de pompage aval, où leur pompage génère de par leur importante fraction solide une dégradation répétée des pompes.</p>	<p>Colmatage des 2 secteurs de drainage de sous géomembrane concernés et endommagements répétés des pompes du puits de pompage aval.</p> <p>→ Cet endommagement répété risquerait de provoquer une hausse du niveau piézométrique dans les matériaux constitutifs du barrage et rupture du barrage.</p>	<p>Le colmatage de la fuite a été effectué grâce à la pose sous-marine d'un géotextile et à la déposition de résidus ciblée dans cette zone via le rapprochement d'un point de déposition. Le 26 juin, la fin des infiltrations est constatée au puits de pompage aval.</p>
2018	<p>Le 6 février 2018, un incendie éclate dans la salle électrique, alimentant les pompes de la barge et les pompes du puits de pompage aval. Cet incendie engendre l'impossibilité d'utiliser les pompes électriques du puits de pompage aval, ainsi que celle de la barge de pompage.</p> <p>L'incendie s'est déclaré à la suite d'une erreur humaine. L'électricien de quart est venu dans la salle électrique pour réarmer un fusible sur l'alimentation d'une pompe de la barge qui avait sauté. Au bout de 3 tentatives, il y a eu un arc électrique qui a engendré l'incendie. A l'origine : la longueur des câbles alimentant les pompes électriques trop grande par rapport aux spécificités des moteurs des pompes.</p>	<p>→ Risque de perte du contrôle du niveau de remplissage de l'aire de stockage et débordement du barrage dû à l'arrêt de l'alimentation des pompes de la barge de pompage</p> <p>→ Risque de rupture du barrage due à l'augmentation du niveau piézométrique dans les matériaux constitutifs du barrage ou d'une érosion rapide du pied aval de barrage suite à un débordement du puits de pompage.</p> <p>→ Risque de rejet à l'environnement dû au débordement du puits de pompage aval</p>	<p>Une nouvelle salle électrique a été reconstruite dans les mois suivants.</p> <p>Les câbles d'alimentation ont été raccourcis en 2021.</p> <p>Un groupe électrogène alimentant une pompe électrique de $150 \text{ m}^3/\text{h}$ est installé au niveau du puits. Le groupe s'enclenche automatiquement en cas de dépassement de seuil de niveau dans le puits ou de l'arrêt de l'alimentation électrique des pompes principales. Son déclenchement automatique est indépendant de l'alimentation générale des pompes principales.</p>
2018	<p>Entre le 10 et le 14 mars 2018, la pompe diesel de secours, en charge d'assurer le pompage des eaux collectées dans le puits de pompage aval suite à l'incendie de la salle électrique, est tombée en panne concomitamment avec de forts événements pluvieux.</p> <p>Un débordement des eaux collectées par le réseau de drains sous la géomembrane est enregistré, engendrant un rejet de ces eaux dans le milieu naturel. La concentration en manganèse a dépassé temporairement le seuil maximum autorisé ($2,66 \text{ mg/l}$ au lieu de</p>	<p>→ Rejet à l'environnement par débordement du puits aval de pompage</p> <p>→ Erosion du pied aval et rupture du barrage</p>	<p>Cet incident a fait l'objet d'un rapport d'incident transmis à la DIMENC et d'un plan d'actions.</p> <p>Un groupe électrogène alimentant une pompe électrique de $150 \text{ m}^3/\text{h}$ est installé au niveau du puits. Le groupe s'enclenche automatiquement en cas de dépassement de seuil de niveau dans le puits</p>

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
	1mg/l). Il est rappelé que depuis décembre 2017 aucun rejet à l'environnement n'est autorisé par l'arrêté ICPE Lucy.		ou de l'arrêt de l'alimentation électrique des pompes principales. Son déclenchement automatique est indépendant de l'alimentation générale des pompes principales.
2018	Un séisme de magnitude 7.6 sur l'échelle de Richter s'est produit le 5 décembre 2018 à 15h18 à 155 km au sud-est des îles Loyauté.	<p>L'évènement sismique ne dépasse pas le séisme dimensionnant du barrage.</p> <p>Les risques peuvent être des chutes locales de blocs au niveau des merlons de protection des crêtes, des instabilités des talus internes et/ou une rupture du barrage.</p>	<p>Une inspection sur site a été réalisée par l'équipe en charge de l'opération du parc à résidus le lendemain : aucun désordre visuel n'a été constaté. Les données acquises via l'instrumentation du barrage n'ont pas fait apparaître d'anomalie suite au séisme enregistré.</p> <p>En cas de perte de stabilité du barrage, les instruments d'auscultation en place dans les remblais sont suivis plus fréquemment. Depuis 2020, des seuils d'action concernant les données d'auscultation sont définis dans le TARP et doivent être suivis en cas de dépassement.</p>
<u>Evènements tirés des comptes-rendus des visites techniques approfondies de 2020-2021 et 2022</u>			
2020	<p>De fortes précipitations sont survenues le 29 février 2020 (480 mm en 24h).</p> <p>Une ronde spéciale a été réalisée le 2 et le 3 mars suivant par PRNC et les observations suivantes ont été faites sur l'ouvrage :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Erosion importante et glissements de terrain observés sur les talus naturels et phénomène d'embâcle observé au droit du drain de dérivation sud. ➔ Erosion importante au niveau de la zone de travaux W06 et W07 au sud de l'aire de stockage ➔ Géomembrane et merlon de protection très endommagée, érosion de talus et encombrement au niveau du drain de dérivation nord, et bassin Nothofagus plein avec des apparitions de dolines au contact remblai/terrain naturel ➔ Erosion à l'exutoire du drain de sous banquette 206 au sud 	<p>Erosion importante des talus naturels et glissement de terrain, provoquant une vague de submersion et un débordement du barrage.</p> <p>Risque d'érosion du pied aval du barrage par débordement des fossés de pied et/ou érosion des exutoires du drain horizontal de sous-banquette 206,5 ou du drain de dérivation sud, puis de rupture du barrage.</p>	<p>Les actions suivantes ont été menées :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Aire de stockage : <ul style="list-style-type: none"> - Vidange du volume d'eau libre - Adaptation de la longueur des amarres de la barge de pompage - Zone W06/W07 : Reprise des travaux dès que les conditions le permettent pour finalisation du talus ➔ Barrage :

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Augmentation du niveau d'eau + 1.23 m (entre le 24/02/20 et le 02/03/20) : plage de résidus quasiment entièrement recouverte par les eaux ➔ Route d'accès à la verse DWP1 endommagée ➔ Route d'accès à la mine et merlon de protection fortement endommagés, notamment sur la portion directement en amont de la paroi berlinoise. ➔ Défaut d'une pompe et présence de fines au niveau du puits de pompage aval ➔ Débits des conduites de drainage sous la géomembrane n°3 et 4 ont un très fort débit ➔ Plusieurs supports de pipeline endommagés ➔ Augmentation des niveaux piézométriques au niveau des capteurs situés dans les remblais de la zone 1A (amont) du barrage et dans les matériaux des fondations du barrage. Pas de dépassement de seuil noté. 		<ul style="list-style-type: none"> - Inspection complète du barrage à la fin de l'épisode pluvieux en cours puis à intervalle régulier si anomalie observée ➔ Réparation en urgence de la route de la mine et du merlon de protection ➔ Puits de pompage aval : <ul style="list-style-type: none"> - Investigation sur les raisons du défaut observé sur la pompe 285-PPP-013 + plan d'actions correctives - Reprise de la gestion des eaux autour du puits de pompage et mettre en place un système de protection des talus ➔ Drain de dérivation sud : reprise des enrochements le long du drain, au droit des zones endommagées, et désencombrement du drain. Des ouvrages de soutènement des talus naturel ont été mis en œuvre (mur de gabions et murs d'éléments en béton préfabriqués). Depuis le 26/11/2021, l'exutoire du drain de dérivation sud a été redirigé vers la carrière de latérite sud, et n'est plus le pied aval du barrage.
2020	Rupture d'une amarre de la barge de pompage (1/4)	Défaut de la capacité de pompage de la barge et augmentation rapide du niveau d'eau dans l'aire de stockage	Remplacement de l'amarre endommagée

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
		Déplacement de la barge et dommage sur les talus internes et barrage	Réactivité accrue dans l'adaptation de la longueur des amarres de la barge en fonction des précipitations
2021	<p>Un séisme de magnitude 6 sur l'échelle de Richter est survenu le 8 janvier 2021</p> <p>Le séisme n'a pas causé de dégâts visibles sur l'ouvrage et il n'y a pas eu de dépassement de seuil dans les résultats des analyses de données d'auscultation du barrage.</p>	<p>L'évènement sismique ne dépasse pas le séisme dimensionnant du barrage.</p> <p>Les risques peuvent être des chutes locales de blocs au niveau des merlons de protection des crêtes à une instabilité des talus internes et/ou du barrage et une rupture.</p>	<p>Surveillance renforcée de l'auscultation du barrage (seule action tant que les niveaux piézométriques ne dépassent pas les seuils définis dans le TARP).</p> <p>En cas de dépassement des seuils, des actions de correction afin de ramener les indicateurs en dessous des seuils du TARP sont mises en œuvre.</p>
2021	<p>Double évènement :</p> <p>➔ La dépression tropicale LUCAS a traversé le site engendrant de fortes précipitations et des vents violents. Les précipitations ont été de 300 mm de pluie sur les 2 et 3 février 2021 avec des vents de l'ordre de 100 km/h avec des rafales à 140 km/h.</p> <p>➔ Séisme de magnitude 7,6 dans la nuit du 10 au 11 février dont l'épicentre est situé au Sud-Est des îles Loyautés (350 km au large de Mare).</p> <p>Le parc à résidus et son barrage n'ont subi aucun impact significatif. Aucune géomembrane déchirée, aucun fossé obstrué, aucun éboulement constaté et aucun débordement non conforme n'a été observé.</p> <p>A noter également que l'analyse du suivi en continu de l'auscultation du barrage (piézomètre notamment) ne fait apparaître aucune réaction au séisme que ce soit dans le corps du barrage que dans ses fondations.</p>	<p>L'évènement sismique ne dépasse pas le séisme dimensionnant du barrage.</p> <p>Les risques peuvent être des chutes locales de blocs au niveau des merlons de protection des crêtes à une instabilité des talus internes et/ou du barrage et une rupture.</p>	<p>Surveillance renforcée de l'auscultation du barrage (seule action tant que les niveaux piézométriques ne dépassent pas les seuils définis dans le TARP).</p> <p>En cas de dépassement des seuils, des actions de correction afin de ramener les indicateurs en dessous des seuils du TARP sont mises en œuvre.</p>
2022	<p>Entre fin août et mi-novembre 2022, une augmentation nette des débits et de la conductivité a été observée au niveau des drains de pied 4R8 et 4R9.</p> <p>Cette augmentation a été causée par une déchirure dans la géomembrane de la face amont du barrage qui a entraîné une infiltration importante de surnageant au travers de la zone 1A,</p>	<p>Phénomène de piping</p> <p>Hausse du niveau piézométrique dans les matériaux constitutifs du barrage et rupture du barrage.</p>	<p>Les travaux mis en œuvre, visant à colmater la zone source de l'infiltration, sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de « coussins » de géotextiles remplis avec des résidus humides pour diminuer l'aspiration. Un total de 159

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
	captée ensuite par la cheminée drainante et convoyée majoritairement par le tapis drainant jusqu'aux drains de pied 4R8 et 4R9.		<p>« coussins » d'environ 10 à 20 kg chacun ont été mis en place, depuis un bateau, au niveau de la zone d'aspiration (du 16/10/2022 au 10/11/2022), puis par un scaphandrier une fois l'aspiration réduite.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protection de la géomembrane surmontant la zone d'infiltration par la mise en place de bandes de convoyeur (avec recouvrement) - Transport mécanique de résidus épaissis depuis une zone hors d'eau du bassin : excavation à la pelle hydraulique, transport par camion, puis mise en place par une pelle hydraulique contre la face amont du barrage à l'endroit de l'infiltration. Un total de 1370 m³ de résidus a été mis en place entre le 11/11/2022 et le 14/12/2022. La baisse majeure des débits au niveau des drains de pied a été observée à partir du 15/11/2022, c'est-à-dire dès les premiers jours de dépôts des résidus. - Mise en place d'un complexe constitué d'une géomembrane bentonitique (GSB) entre deux couches de géomembrane LLDPE. Le complexe est lesté à son extrémité et déroulé depuis la banquette RL220 m du barrage au-dessus de la zone d'infiltration. - Transport mécanique de résidus épaissis depuis une zone hors d'eau du bassin : excavation à la pelle hydraulique, transport par camion, puis mise en place par une pelle hydraulique sur le complexe géomembrane / GSB installé à l'endroit de l'infiltration. Un

Année	Description des incidents et/ou accidents	Risques potentiels	Actions mise en œuvre
			<p>total de 2350 m3 de résidus a été mis en place entre le 22/12/2022 et le 27/01/2023.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation d'un système d'ancrage autour du bassin de stockage et test de deux barges de pompage (Dragflow et pompe) directement dans le bassin afin d'aspirer puis redéposer les résidus du bassin de stockage au niveau de localisations spécifiques (option pour le futur). <p>A la suite des travaux de colmatage, les débits au niveau des drains de pied sont revenus à des valeurs proches de celles enregistrées avant l'infiltration, avec une réactivité à tout épisode pluvieux intense. Du point de vue de la conductivité, les valeurs sur 4R8 et 4R9 semblent indiquer un phénomène de lessivage du système de drainage interne (et des drains de pied), avec une augmentation de la conductivité lorsque les débits sont faibles et une chute lors de l'augmentation des débits. Les sources WK17 et WK20 semblent également indiquer une tendance à la réduction de la contamination observée.</p>

7.3.2 Analyse de l'accidentologie interne

Parmi les 17 cas d'accidents/incidents/événements recueillis, il est constaté que :

- ➔ 4 cas se sont produits suite à des conditions climatiques défavorables (fortes pluies, vent) ;
- ➔ 1 cas est survenu suite aux conditions naturelles (tassement) ;
- ➔ 9 cas sont survenus suite à un problème technique (panne, déchirure de la géomembrane) ;
- ➔ 3 cas se sont produits suite à un séisme.

Le nombre de cas recueillis semble peu suffisant pour déterminer des récurrences de causes. Toutefois, il est noté que pour 7 cas parmi les 17 des rejets dans le milieu naturel se sont produits.

7.3.3 Retour d'expérience

Afin de prévenir les accidents décrits dans les paragraphes précédents, des mesures ont été incluses dès la conception du barrage et suite à des accidents/incidents/événements survenus sur le site et sur des ouvrages similaires.

Le tableau suivant reprend les principales causes et conséquences d'accidents/incidents/événements et présente les éléments de conception associés, mis en œuvre pour le parc à résidus KO2.

Tableau 80 : Intégration du retour d'expérience de l'accidentologie externe et interne dans la conception du parc à résidus KO2

Causes et conséquences de l'accident	Eléments de conception justifiant la prise en compte de l'accidentologie dans la conception de l'ouvrage
	Parc à résidus KO2
<u>Retour d'expérience de l'accidentologie externe :</u>	
Défaillance technique / Défaillance de conception : ➔ Un défaut de construction ou de conception du barrage du bassin de stockage ➔ Infiltration/érosion du barrage	➔ Etude de conception détaillée ; ➔ Alternance de limonite et d'enrochement dans la réalisation du barrage, l'enrochement jouant le rôle d'une protection contre l'érosion et de canaux de drainage éliminant l'accumulation de charges hydrauliques ; ➔ Système de drainage sous la géomembrane et sous les banquettes de l'aire de stockage de résidus permettant de prendre en charge d'éventuelles surpressions ; ➔ Réalisation d'un tapis drainant et d'une cheminée drainante afin d'évacuer les infiltrations dans les matériaux du barrage ; ➔ Mise en place d'un cœur étanche amont et d'une géomembrane afin de limiter les phénomènes d'infiltration ;

Causes et conséquences de l'accident	Eléments de conception justifiant la prise en compte de l'accidentologie dans la conception de l'ouvrage
	Parc à résidus KO2
<ul style="list-style-type: none"> → Défaut de l'étanchéité/ Infiltration dans le milieu naturel → Défaut du système de drainage/ Formation de poches d'eau → Défaut d'opération/Sur-remplissage du parc à résidus 	<ul style="list-style-type: none"> → Réalisation d'une étude de stabilité intégrant différentes simulations pour vérification de la stabilité du barrage ; → Mise en place d'un Plan d'Assurance Qualité pour la mise en œuvre du barrage ; → Auscultation du barrage et automatisation des relevés avec l'outil SIXENSE (voir section 4 de la présente EDD), mise en place du TARP (Trigger Action Response Plan) avec des seuils d'action pour chaque type de donnée du système d'auscultation. En cas de dépassement des seuils, des actions de correction afin de ramener les indicateurs en dessous des seuils du TARP sont mises en œuvre. → Réalisation d'inspection journalières / hebdomadaire / Mensuelle via l'application Beyond Asset
<p>Conditions météorologiques défavorables :</p> <ul style="list-style-type: none"> → Débordement du puits de pompage aval et du parc à résidus KO2 → Instabilité des résidus et/ou du barrage due à la charge hydrostatique 	<ul style="list-style-type: none"> → Une crue centennale 10 jours doit être stockée en tout temps ; → L'évacuateur de crues en exploitation est dimensionné pour une crue Q1000 de 72 h ; → L'évacuateur de crues après fermeture sera dimensionné pour une PMF (Crue Q1000 000) ; → Système de drainage sous la géomembrane et sous les banquettes de l'aire de stockage de résidus permettant de prendre en charge d'éventuelles surpressions.
<p>Séisme : Instabilité des résidus et/ou du barrage et/ou du terrain naturel (liquéfaction des matériaux)</p>	<ul style="list-style-type: none"> → Vérification en laboratoire de la non-liquéfaction des latérites et matériaux épaissis pouvant conduire à la rupture de l'ouvrage. → Auscultation du barrage et automatisation des relevés avec l'outil SIXENSE (voir section 4 de la présente EDD), mise en place du TARP (Trigger Action Response Plan) avec des seuils d'action pour chaque type de donnée du système d'auscultation. → Réalisation d'une inspection Spéciale post-sismique
<p>Pollution du milieu naturel par agressivité chimique</p>	<ul style="list-style-type: none"> → Neutralisation des résidus à la chaux pour stabilisation du pH aux environs de 7 ; → Réalisation d'une étude écotoxicologique montrant la faible toxicité des résidus sur les biotes marins et dulcicoles.

Causes et conséquences de l'accident	Eléments de conception justifiant la prise en compte de l'accidentologie dans la conception de l'ouvrage
	Parc à résidus KO2
Autre cause ayant engendré des accidents : animaux fouisseurs causant des dommages à la surface du barrage	Les matériaux constitutifs du barrage sont une alternance de matériaux rocheux et de limonite. La surface du barrage, hormis la banquette 220 et la géomembrane du parement amont, est constituée de matériaux rocheux.
<i>Retour d'expérience de l'accidentologie interne :</i>	
2012 : Rupture de drains avec érosion de la limonite entraînant un décollement de la géomembrane à cause de résurgences au droit des talus interne	<p>Un système de drainage a été installé sous les talus et banquettes de l'aire de stockage. Il est constitué d'un tapis drainant, de stations de décharge et de 2 drains horizontaux sous les banquettes 206,5 et 220 m.</p> <p>En cas d'instabilité des talus internes de l'aire de stockage et de glissement de talus, l'évacuateur de crue est dimensionné pour évacuer une augmentation du niveau d'eau créé par une crue Q1000 ans en phase d'exploitation et éviter un débordement du barrage.</p>
2013 : Fuite au niveau d'un tronçon enterré de la ligne de pompage de la barge.	Des travaux d'urgence ont conduit au remplacement du tronçon enterré par une canalisation aérienne reposant sur la géomembrane. Cette solution facilite la maintenance de ce tronçon, auparavant inaccessible.
2018 : Incendie de la salle électrique et arrêt de l'alimentation du système de pompage de la barge et du puits de pompage	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Amélioration de la sûreté du système électrique : Raccourcissement des câbles d'alimentation électrique ; ➔ La barge de pompage comporte 2 pompes de secours diesel ➔ Le puits de pompage comporte 1 pompe diesel et un groupe électrogène de secours relié à une pompe de 150 m³/h. ➔ SMS envoyé vers divers opérateurs de l'UPM et Usine notamment, en cas de coupure de courant ou de haut niveau dans le puits de pompage.
2020 : Fortes précipitations (480 mm en 24h) ayant causées une érosion importante et des glissements de terrain sur les talus naturels, avec phénomènes d'embacle observés sur le drain de dérivation sud	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Drain de dérivation sud : reprise des enrochements le long du drain, au droit des zones endommagées, et désencombrement du drain. Des ouvrages de soutènement des talus naturel ont été mis en œuvre (mur de gabions et murs d'éléments en béton préfabriqués) ➔ Depuis le 26/11/2021, l'exutoire du drain de dérivation sud a été redirigé vers la carrière de latérite sud, et n'est plus le pied aval du barrage.

Causes et conséquences de l'accident	Eléments de conception justifiant la prise en compte de l'accidentologie dans la conception de l'ouvrage
	Parc à résidus KO2
2020 : Rupture d'une amarre de la barge de pompage	Réactivité accrue dans l'adaptation de la longueur des amarres de la barge en fonction des précipitations.
2022 : Infiltration au travers du barrage	<p>➔ Surveillance accrue de la conductivité et des débits des drains de pied ;</p> <p>➔ La capacité de pompage à l'aval du puits de pompage est passée de 17 m³/h à approximativement 600 m³/h pour pouvoir renvoyer l'ensemble des eaux des drains de pied vers le bassin de stockage.</p>

L'ensemble de ces expériences en accidentologie (connaissance des causes récurrentes, facteurs aggravants et conséquences) sera utilisé dans les chapitres dédiés à l'analyse des risques et l'étude de leur réduction.

7.4 Accidentologie interne : Verse

Le tableau qui décrit les incidents et/ou accidents survenus sur les verses du site de PRNC est présenté en Annexe M.

Parmi les 17 cas d'accidents/incidents/événements présentés en Annexe M, il est constaté que :

- ➔ 3 cas se sont produits suite à des conditions climatiques défavorables (fortes pluies, vent) ;
- ➔ 7 cas sont survenus suite aux conditions naturelles (dolines) ;
- ➔ 7 cas sont survenus suite à un problème technique et opérationnel.

Le nombre de cas recueillis semble peu suffisant pour déterminer des récurrences de causes. Toutefois, il est noté que pour 7 cas parmi les 17 sont liés à la présence des dolines.

La majorité des dolines, observées pendant la construction du parc à résidus KO2, a été traitée avec une méthodologie spécifique comme précisé dans le paragraphe 6.2.2. Toute nouvelle doline identifiée fait l'objet du même traitement

Dans le cadre du projet Lucy, lors du terrassement de la future verse à résidus les dolines observées seront répertoriées et traitées.

Un contrôle qualité sera mis en place afin d'assurer un suivi en conformité avec la construction du projet Lucy.

8 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES EN TERMES DE PROBABILITE D'OCCURRENCE, D'INTENSITE ET DE CINETIQUE DES EFFETS ET DE GRAVITE DES CONSEQUENCES

8.1 Phases de construction considérées dans l'analyse des risques

Les phases considérées dans l'analyse des risques sont les suivantes :

- Phase des travaux préparatoires : analyse des risques du parc à résidus KO2 à l'état actuel (avant confortement) ;
- Phase de confortement : analyse des risques du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy à la fin de la phase 7 de construction de la verse;
- Phase finale : analyse des risques du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy en phase finale de construction de la verse ;
- Phase de fermeture : analyse des risques du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy après fermeture et réhabilitation des deux ouvrages.

8.2 Méthodologie adoptée pour l'analyse des risques

L'analyse de risques vise à mettre en évidence les situations accidentelles potentielles les plus significatives, et examine les scénarios pouvant les provoquer.

L'objet de ce chapitre est de présenter la méthodologie d'identification et d'analyse des risques appliquée dans le cadre de la présente étude de dangers.

8.2.1 Etapes de l'analyse des risques

L'analyse des risques est menée en cinq étapes :

- 1- Identification des potentiels de dangers : Il s'agit de l'identification des potentiels de dangers lié au parc à résidus et à la verse Lucy. Le but est d'identifier les événements redoutés potentiels qui seront étudiés lors de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) ;
- 2- Modélisation des phénomènes dangereux : Une étude de propagation des résidus et/ou du surnageant est fournie pour les scénarios de rupture du barrage KO2 et de la verse. L'étendue des zones submergées fait l'objet d'une représentation cartographique à une échelle adaptée pour chacun des accidents étudiés. Les principales caractéristiques des phénomènes utiles à l'analyse sont : l'emprise, la hauteur de submersion, la cinétique (temps d'arrivée et vitesse).
- 3- L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) : L'analyse préliminaire des risques dresse un inventaire le plus exhaustif possible des modes de défaillance de l'ouvrage et de ses organes de sécurité pour toutes les conditions d'exploitation et pour toutes les phases

de construction afin d'identifier les **Evènements Redoutés Centraux (ERC)** qui feront l'objet d'une Analyse Détaillée des Risques (ADR).

L'**Evènement Redouté Central (ERC)** est l'événement qui sera à l'origine de la libération des éléments potentiellement dangereux produisant des phénomènes impactant pour les humains et l'environnement. Les ERC traduisent généralement une perte d'intégrité d'un équipement ou un ouvrage, pouvant avoir des conséquences sur le milieu naturel, sur le plan humain ou encore sur les objectifs de production.

Les différentes étapes pour la conduite de l'APR sont les suivantes :

- ➔ L'identification des modes de défaillance de chaque élément de l'ouvrage, dans différentes conditions données, et des évènements initiateurs associés. Cette identification s'appuie sur l'analyse fonctionnelle des ouvrages ;
- ➔ La description des conséquences directes et indirectes des défaillances. Les modes de défaillance ayant des conséquences directes sont retenus en tant qu'Evènement Redouté Central (ERC). Les modes de défaillance ayant des conséquences indirectes sont retenus en tant qu'évènement initiateur d'un évènement redouté central ;
- ➔ L'évaluation du risque humain et environnemental « brut » (sans inclure la décote des Mesures de Maîtrise des Risques existantes, « MMR ») ;
- ➔ L'évaluation du risque humain et environnemental « résiduel » (en incluant la décote des MMR existantes). Cette évaluation permet de sélectionner les scénarios et les ERC retenus dans l'ADR : ceux se situant dans une zone de risque résiduel environnemental et/ou humain « intermédiaire » ou « inacceptable ».

- 4- Analyse Détaillée des Risques (ADR) : L'Analyse Détaillée des Risques (ADR) poursuit et complète l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) pour les scénarios sélectionnés à l'étape de l'APR. L'ADR consiste à établir les arbres de défaillances pour ces scénarios. Une représentation synthétique de ces arbres est réalisée par la méthode du nœud papillon. **Un nœud papillon regroupe sur un même graphique les différents scénarios qui comprennent un même ERC.** Un scénario donné peut être lu à partir du logigramme en nœud papillon en suivant une branche unique depuis la partie gauche du graphique (arbre de défaillances) jusqu'à son extrémité droite (arbre d'évènements).

Le schéma suivant illustre les principales notions techniques :

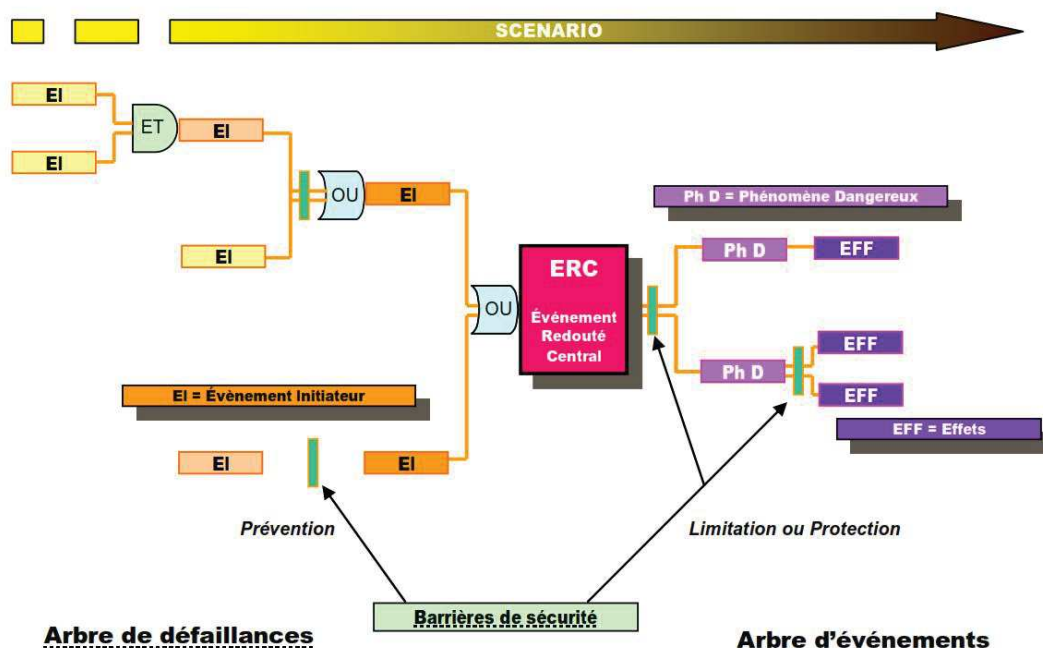


Figure 113 : Nœud papillon

5- Une synthèse avec classement des scénarios retenus en ADR en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leurs conséquences sera enfin réalisée.

8.2.2 Mesures de Maitrises des Risques (MMR)

Les MMR, également appelées « barrières » dans l'arrêté du 3 septembre 2018, désignent les éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.

Une MMR peut être classées en 2 catégories distinctes, selon le rapport d'étude Oméga 20 d'INERIS :

- ➔ MMR ou barrière de « vérification » : Ce type de MMR vise à réduire la probabilité du risque (soupape, ronde, surveillance, etc.). Ces barrières sont présentes dans l'arbre des causes des nœuds papillons c'est-à-dire en amont de l'événement redouté (fuite, crue extrême, etc.) ;
- ➔ MMR ou barrière de « rattrapage » : Ce type de MMR vise à réduire la gravité du scénario et lutter contre les sur-accidents (arrêt d'urgence, moyens de lutte contre l'incendie, etc.). Ces barrières sont placées en aval de l'évènement redouté dans les nœuds papillons (exemple : détection gaz et fermeture automatique d'une vanne).

Plusieurs types de MMR existent, à savoir :

- ➔ Les MMR technique et instrumentés « MMRI » (Capteurs de pression interstitielle, évacuateur de crues, repère de tassement etc.) ;

➔ Les MMR humaines et/ou organisationnelles « MMRH » (Ronde journalière, Plan d'action d'urgence, Plan d'opération interne...).

Il est donc possible de distinguer les MMRI (entièrement instrumentées), les MMR techniques composées de dispositifs de sécurité (passifs ou actifs) et les MMRH (barrières entièrement humaines et organisationnelles).

8.2.2.1 Mode de sélection d'une MMR

L'analyse permet dans un premier temps de « sélectionner » la MMR en s'assurant qu'elle satisfait les critères de sélection suivants :

➔ Pour une MMRH :

- **L'indépendance** : sa performance est indépendante et n'est donc pas dégradée par les scénarios concernés ;
- **L'efficacité** (ou capacité de réalisation) : Le dimensionnement de la MMR doit être adapté et elle doit être résistante aux contraintes spécifiques engendrées par le scénario ;
- **Le temps de réponse** : Le temps de réponse de la MMR doit être inférieur à la cinétique du scénario.

➔ Pour les MMRT/MMRI

- **L'indépendance** : sa performance est indépendante et n'est donc pas dégradée par un scénario ;
- **L'utilisation pour la sécurité** : a minima, le descriptif technique de la MMR doit préciser qu'elle est identifiée pour la sécurité. Elle doit donc être conçue et traitée en tant que tel (Cahier des Charges spécifique, suivi dans le SGS, ...).

8.2.2.2 Evaluation de la performance des MMR

L'évaluation de la performance des MMR a été réalisée selon la méthodologie décrite dans les rapports d'étude Oméga 20 (pour les Mesures de Maitrise des Risques humaines et organisationnelle – MMRH) et Oméga 10 (pour les Mesures de Maitrise des Risques techniques et instrumentées – MMRT et MMRI) d'INERIS.

L'évaluation de la performance des MMR s'effectue par l'attribution d'un niveau de confiance pour chacune d'elles, définissant sa capacité à décoder la probabilité d'un scénario et/ou la gravité de ses conséquences humaines et environnementales.

La méthode se base sur une analyse qualitative de la situation de travail correspondant à la mise en œuvre de la MMR. La situation de travail est analysée pour mettre en évidence des facteurs aidant ou perturbant la réalisation des MMR.

Le principe de l'évaluation consiste en l'attribution d'un niveau de confiance (« NC ») maximal pour chaque MMR (c'est-à-dire égal à 2), puis en la réduction de ce NC en fonction de sa conformité aux exigences liées aux sous-fonctions ci-dessous. La méthode requiert l'examen de trois tableaux (un tableau par sous-fonction), indiquant la décote à effectuer sur le niveau de confiance de la MMR (NC=2) en fonction des exigences qu'elle remplit. Le niveau de confiance retenu pour la MMR correspond à la différence entre le niveau de confiance optimal (2) et la somme des décotes sur les trois tableaux correspondant à chacune des sous-fonctions. Il sera nul si la somme des décotes est supérieure ou égale à 2.

➔ Pour une MMRH :

- Première sous-fonction : **obtention de l'information** (Tableau 5 de l'Annexe N pour les MMR à détection « passive » et tableau 6 pour les MMR à détection « active ») ;
- Deuxième sous-fonction : **diagnostic permettant le choix de l'action à réaliser** (Tableau 7 de l'Annexe N) ;
- Troisième sous-fonction : **action de sécurité à réaliser** (Tableau 8 de l'Annexe N).

Il est à noter que pour la première sous-fonction (obtention de l'information), le tableau à utiliser est différent entre les MMRH à :

- Détection passive : L'opérateur a un rôle « passif » dans la détection, il est alerté ou sollicité par l'arrivée d'une information fortuite (alarme prévue, phénomène physique, ...) ; et à
- Détection active : L'opérateur a un rôle « actif » dans la détection, il doit s'engager dans une activité planifiée (par exemple une ronde de surveillance) de prévention des risques dont la finalité est l'obtention d'une ou plusieurs informations lui permettant de détecter des anomalies.

➔ Pour les MMRT/MMRI :

- L'efficacité (de 0 à 100%) : l'aptitude de la MMR à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans son contexte d'utilisation et pendant une durée donnée de fonctionnement. L'efficacité s'exprime en pourcentage d'accomplissement.
- Le temps de réponse : Le temps de réponse correspond à l'intervalle de temps entre le moment où une MMR est sollicitée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette MMR est réalisée dans son intégralité.

Il est à noter que les MMRT et MMRI sont classées en 2 catégories pour lesquelles la méthode d'évaluation du niveau de confiance est différente :

- Les dispositifs passifs : qui ne mettent en jeu aucun système mécanique pour remplir leur fonction et qui ne nécessitent ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source d'énergie externe pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les cuvettes de rétention, les disques de rupture, les arrête-flammes ainsi que les murs coupe-feu.
- Les dispositifs actifs : qui mettent en jeu des dispositifs mécaniques (ressort, levier...) pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les soupapes de décharge et les clapets limiteurs de débit.

Le niveau de confiance obtenu pour chaque MMR justifiera de la décote appliquée aux probabilités et aux gravités des conséquences des scénarios.

8.2.2.3 Résultat de l'évaluation

Tableau 81 : Tableau de référence des MMR existantes, de leur fonction et de leur décote.

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
MMRT et MMRI (Mesures de Maitrise des Risques Techniques et Instrumentées) :					
1	<u>Ensemble des équipements d'auscultation du parc à résidus et TARP</u>	<p>Permet d'alerter en amont du scénario afin de mettre en œuvre les actions prévues dans le TARP (Trigger Action Response Plan), et ce, afin de contrôler la situation dangereuse et éviter le scénario, ou d'alerter la population et le personnel afin d'évacuer la zone.</p> <p>Cet ensemble comprend les CPI, les repères de tassements, les plots topographiques, les inclinomètres/extensomètres, les suivis bathymétriques, des débits, des MES, des conductivités et des géophones (vibrations en cas de tir à proximité du barrage).</p>	-1	0	0
2	Logiciel PI process book	Permet de suivre le process de traitement (paramètres pH, Q entrant, Q sortant, pourcentage solide, consommation d'acide...) des résidus et mettre en place des actions correctives en cas d'anomalie (exemple : arrêt de l'usine en cas de perte de contrôle)	-1	0	0
3	Contrôle PCS (process control system) et automatisation de la séquence de pompage, Logiciel PI	<p>En cas de défaillance, des alertes sont visibles sur le contrôle PCS et des messages d'alerte sont envoyés sur les portables des personnes responsables.</p> <p>Le suivi du pompage est visible directement sur le logiciel PI process book</p>	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
4	BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers	Conformément aux BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers : Maintien du système de monitoring et de son suivi en place durant l'exploitation et adaptation au type de plan de fermeture, et pour une durée dépendant des enjeux humains et environnementaux et du risque résiduel	-1	0	-1
5	Evacuateur de crues	Conception pour évacuer une crue Q1 000 000 et ainsi conserver les conditions de stabilité de l'ouvrage	-1	0	0
6	1 pompe de secours sur groupe électrogène et 1 motopompe de secours installées au niveau du puits de pompage aval	Maintenir un débit de pompage en cas de défaillance d'une ou plusieurs pompes électriques	-1	0	0
7	1 pompe de secours installée au niveau de la barge de pompage	Maintenir un débit de pompage en cas de défaillance d'une ou plusieurs pompes électriques	-1	0	0
8	Enrochement au niveau de l'exutoire du drain 206 sud	Eviter l'érosion du pied aval du barrage au niveau de l'exutoire du drain horizontal sud	0	0	0
9	Ensemble des équipements d'auscultation du projet Lucy et TARP	Permet d'alerter en amont du scénario afin de mettre en œuvre les actions prévues dans le TARP (Trigger Action Response) et ce afin de contrôler la situation dangereuse et éviter le scénario, ou d'alerter la population et le personnel afin d'évacuer la zone. Cet ensemble comprend les CPI, les repères de tassements, les plots topographiques, les inclinomètres /extensomètres, le suivi des débits, des MES, des conductivités	-1	0	0
10	Evacuateur de crues provisoire du bassin des eaux de contact Nord	Conception pour évacuer la crue Q1000 ans, et ainsi éviter le débordement du bassin nord et des conditions de stabilité de l'ouvrage.	-1	0	0
11	Evacuateur de crues définitif du bassin des eaux de contact central	Conception pour évacuer la crue Q1000 ans, et ainsi éviter le débordement du bassin central et des conditions de stabilité de l'ouvrage.	-1	0	0
12	Deuxième géomembrane à la	Le système d'étanchéité des bassins est constitué d'une double géomembrane entre	-1	0	0

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
	base des bassins des eaux de contact	lesquelles est intercalée une couche de géocomposite de drainage.			
13	Système de détection des fuites des bassins des eaux de contact	Le système de détection de fuites est connecté à la couche de géocomposite de drainage et constitué par des drains en enrochements pourvus d'une conduite crépinée. Ces drains débouchent dans des puisards et les eaux collectées sont renvoyées vers les bassins des eaux de contact.	0	-1	0
14	Vanne au niveau des bassins des eaux de contact Nord et Sud	Le transfert des eaux de contact des bassins nord et sud vers le bassin central se fait gravitairement. Deux vannes de contrôle sont installées entre les bassins nord et sud et le bassin central. Ces vannes permettent de réguler le transfert des eaux vers le bassin central.	-1	0	0
15	Pompes de secours au niveau des bassins des eaux de contact Nord et central	Maintenir un débit de pompage en cas de défaillance d'une ou plusieurs pompes électriques.	-1	0	0
MMRH (Mesures de Maitrise des Risques Humaines/ organisationnelles) :					
16	Inspections journalière et maintenance	Les inspections et travaux de maintenance permettent d'éviter la défaillance d'un élément d'ouvrage et l'occurrence d'un scénario provoqué par un EI spécifique	-1	0	0
17	Inspections hebdomadaire et maintenance		-1	0	0
18	Inspection et entretien des conduites de drainage sous la géomembrane par purge et par curage	Les inspections et entretiens des conduites permettent d'éviter le colmatage, la perte de fonction du système de drainage et l'impossibilité de réaliser l'inspection les conduites. Procédure de purge : « PRO-14001-LUCY »), Procédure de curage , Vidéo inspection réalisées 1 fois tous les 2 ans.	-1	0	0
19	PAU, POI, Dispositif ORSEC aménagement hydraulique	Réduire la gravité des conséquences humaines par évacuation de la zone d'onde de submersion. Pour cela sont mis en place : des panneaux d'information aux limites d'entrée de la zone de submersion et 8 sirènes d'alerte à la population.	0	0	-1

N°	Description	Fonction	Décote de la		
			Probabilité	Gravité environ.	Gravité humaines
20	Inspection post-séisme dans les 24h puis 2 semaines après	Permet de constater d'éventuelles anomalies suite à un séisme et mettre en place des actions correctives/ travaux de remise en état.	0	0	0
21	Inspection spéciale	Permet de constater d'éventuelles anomalies suite à un incident et/ou un évènement naturel extrême et mettre en place des actions correctives/ travaux de remise en état.	0	0	0
22	BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers	Conformément aux BAT (Best Available Techniques) 2018 sur la gestion des déchets miniers : Maintien du système organisationnel en cas d'accident en place durant l'exploitation et adaptation au plan de fermeture, et pour une durée dépendant des enjeux humains et environnementaux et du risque résiduel (POI maintenu).	-1	0	-1

8.2.3 Evaluation de la probabilité d'occurrence d'un scénario

La probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et des accidents potentiels est évaluée à l'aide de l'échelle réglementaire définie par l'arrêté du 29 septembre 2005. Elle est présentée au tableau suivant :

Tableau 82 : Echelle de probabilité (arrêté du 29 septembre 2005)

Classes de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative	Evénement possible mais extrêmement peu probable	Evénement très improbable	Evénement improbable	Evénement probable	Evénement courant
	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	S'est déjà produit et/ou peut se reproduire pendant la durée de vie de l'installation	S'est produit sur site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices
Semi quantitative	Echelle intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative permettant de prendre en compte les mesures de maîtrise des risques mises en place				
Quantitative (par unité et par an)	$P < 10^{-5}$	$10^{-5} \leq P < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq P < 10^{-3}$	$10^{-3} \leq P < 10^{-2}$	$P \geq 10^{-2}$

Il est à noter que la **méthode qualitative** est appliquée dans le cadre de la phase d'analyse préliminaire des risques.

8.2.4 Evaluation de la gravité des conséquences humaines et environnementales d'un scénario

Le niveau de gravité d'un accident est directement fonction des conséquences qu'il engendre. Dans le cas du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy, ces conséquences sont principalement humaines ou environnementales.

8.2.4.1 Conséquences humaines

La grille d'évaluation de la gravité des conséquences humaines réglementaire adaptée aux ICPE (arrêté du 29/09/2005) n'étant pas utilisable en l'état pour les scénarios du parc à

résidus et de la verse, elle a été adaptée en tenant compte des pratiques internationales. Cette grille adaptée a été jugée plus représentative des conséquences liées à un accident survenant sur le barrage et sur la future verse Lucy et a été validée avec PRNC.

La grille utilisée pour l'évaluation de la gravité des conséquences humaines est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 83 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers

Niveau de gravité	Commentaire
5 – Désastreux	Plusieurs morts
4 – Catastrophique	1 mort et/ou plusieurs blessures graves engendrant des incapacités de travail permanentes
3 – Important	Blessures engendrant des arrêts de travail et potentiellement une incapacité
2 – Sérieux	Blessures pouvant engendrer des arrêts de travail mais pas d'incapacité
1 – Modéré	Pas d'impact sur les personnes

8.2.4.2 Conséquences environnementales

La grille utilisée pour l'évaluation de la gravité des conséquences environnementales est présentée dans le Tableau 84 ci-dessous. A l'instar de la grille de gravité des conséquences humaines, la grille de gravité des conséquences environnementales a été adaptée en tenant compte des pratiques internationales et a été validée par PRNC.

Tableau 84 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers

Niveau de gravité	Description
5 – Désastreux	Déversement catastrophique entraînant une contamination des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines à l'échelle régionale et nécessitant des travaux majeurs de réhabilitation/dépollution. Suspension ou perte des arrêtés d'autorisation d'exploiter.
4 – Catastrophique	Déversement important entraînant une contamination des sols et des eaux dans une zone protégée. La contamination se répand au-delà du lieu de l'incident, avec des répercussions à l'échelle locale. La réhabilitation demande des investigations et des projets/travaux lourds de réhabilitation/dépollution.
3 – Important	Déversement entraînant une contamination des sols et des eaux. La contamination est contenue à proximité du lieu de l'incident. La réhabilitation demande des investigations et des projets/travaux de réhabilitation/dépollution.

2 – Sérieux	Fuite entraînant une contamination des sols et des eaux. La contamination est contenue au lieu de l'incident. La fuite peut être intégralement gérée par le personnel de l'opération et requiert des travaux minimes de réhabilitation.
1 - Modéré	Fuite en faible quantité, entraînant des actions correctives minimes et immédiates. Impact minime sur l'environnement.

8.2.5 Evaluation de la cinétique d'un scénario

La cinétique d'un scénario correspond à la durée nécessaire pour aboutir à l'atteinte des éléments vulnérables par le phénomène de danger, depuis l'événement initiateur à l'apparition de l'événement redouté et la propagation de ses effets. Selon l'arrêté du 29 sept 2005, la cinétique est qualifiée de :

- ➔ Lente, si dans le contexte du scénario, le délai permet la mise en place de MMR suffisantes, dans le cadre d'un plan d'urgence, pour protéger les personnes exposées à l'extérieur des installations objet du plan d'urgence avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du scénario ;
- ➔ Rapide, si au contraire il n'est pas possible de mettre en place des MMR avant que le scénario n'atteigne les personnes à l'extérieur du site.

Cette cinétique est évaluée qualitativement en fonction des moyens mis en place afin d'anticiper la survenue du scénario et du délai de détection des événements initiateurs.

8.2.6 Matrice des risques

A partir du niveau de gravité et de la probabilité du scénario déterminé, le scénario est classé dans l'une des zones de la matrice des risques issue de la circulaire du 10 mai 2010 et présentée dans le guide méthodologique de PRNC.

Tableau 85 : Grille d'évaluation du niveau de gravité des conséquences humaines utilisé dans l'étude de dangers

Gravité des conséquences		Probabilité d'occurrence des scénarios provoqués par un EI spécifique				
		E	D	C	B	A
		Extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Désastreuses	5	MMR Rang 2	NON	NON	NON	NON
Catastrophiques	4	MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON	NON	NON
Importantes	3	MMR Rang 1	MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON	NON
Sérieuses	2			MMR Rang 1	MMR Rang 2	NON
Modérée	1					MMR Rang 1

La matrice de risque retenue définit trois niveaux de risque :

- ➔ **Une zone de risque élevé**, figurée en **rouge** avec le mot « **NON** » : risque inacceptable.
- ➔ **Une zone de risque intermédiaire**, figurée en **jaune « MMR Rang 1 »** et **orange « MMR Rang 2 »** : Pour qu'un scénario classé dans cette zone soit tolérable, il doit être justifié que les mesures de maîtrise des risques mises en place sont performantes. La gradation des cases " MMR " en " rangs ", correspond à un risque croissant, depuis le rang 1 jusqu'au rang 2. Cette gradation correspond à la priorité que l'on peut accorder à la réduction des risques, en s'attachant d'abord à réduire les risques les plus importants (rangs les plus élevés).
- ➔ **Une zone de risque moindre**, en **vert**, sans mention « **NON** » ou « **MMR** » : risque acceptable.

Seuls les scénarios classés en zones jaune (« MMR Rang 1 »), orange (« MMR Rang 2 ») et rouge (« NON ») seront concernés par l'ADR. Les scénarios classés en zone verte sont considérés comme acceptables et ne nécessitent pas de MMR supplémentaires et d'ADR.

8.3 Identification des potentiels de dangers

Pour le cas du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy, les principaux potentiels de dangers à considérer sont liés :

- ➔ À la stabilité et aux mécanismes de rupture susceptibles de se reproduire ;
- ➔ À la nature des résidus stockés et des eaux polluées générées pouvant affecter l'environnement.

Les sources potentielles de dangers identifiées sont listées ci-après :

- ➔ Le barrage KO2 et la verse sujets à risque de rupture,
- ➔ Les bassins des eaux de contact sujets à risque de rupture,
- ➔ Les résidus stockés à l'intérieur du parc et dans la verse,
- ➔ Les eaux de contact stockées dans les bassins des eaux de contact,
- ➔ Les ouvrages de gestion des eaux du parc et de la verse, sujets à risque de dysfonctionnement,
- ➔ Les conduites de transport des résidus et du surnageant, sujets à risque de perte de confinement.

8.4 Modélisation des phénomènes dangereux

Les phénomènes dangereux modélisés dans le cadre de cette étude de dangers sont principalement la libération et propagation des résidus en cas de rupture du barrage KO2 et de la verse Lucy.

8.4.1 Démarche de la modélisation

Pour évaluer les impacts potentiels qui pourraient survenir en cas de rupture du barrage KO2 et de la future verse Lucy, des simulations moyennant le logiciel de modélisation FLO-2D ont été réalisées. Les résultats ont été cartographiés et analysés sous Qgis.

FLO-2D est un logiciel développé par l'Agence Fédérale Américaine de Gestion des Urgences (FEMA) en 1988, dédié pour simuler les écoulements boueux et les surfaces d'inondation qui peuvent être engendrées par les aléas naturels et anthropiques.

Au cours des années son usage a évolué. Il est fréquemment utilisé pour prédire les vulnérabilités de rupture des digues et des barrages.

Le modèle utilise la loi de conservation de la masse et de la quantité de mouvement pour chaque maille et ce afin de simuler les écoulements sous-critiques et les écoulements supercritiques. La méthode des différences finies centrales est adoptée comme méthode numérique de résolution avec schéma d'intégration explicite.

Les étapes de la modélisation numérique sous FLO-2D sont présentées ci-dessous :

- Importation de la topographie de la zone à étudier ;
- Maillage et définition des limites du domaine ;
- Introduction des habitats, rues, barrages, structures hydrauliques ... ;
- Définition des caractéristiques de la zone d'étude (rugosité des surfaces, blocage des écoulements, pluviométrie ...) ;
- Fixation caractéristiques rhéologiques de la coulée boueuse (concentration en matière solide, loi de comportement ...) ;
- Introduction des paramètres de la simulation (temps de simulation, pas de temps...).

Les ouvrages et les phases concernés qui ont fait l'objet des modélisations sont les suivants :

- Barrage KO2 pendant la phase des travaux préparatoires (avant confortement) ;
- Barrage KO2 après la phase de confortement (fin de la phase 7) ;
- Verse Lucy à la fin de la phase 7 de confortement ;
- Verse Lucy (phase finale et fermeture).
- Bassin des eaux de contact Nord (phase de confortement et phase finale).

Pour chaque ouvrage étudié, une simulation de rupture est réalisée selon chaque mode de rupture identifié.

Les modes de rupture modélisés relatives au barrage KO2 sont :

- Rupture par glissement ;
- Rupture par débordement ;
- Rupture par phénomène de piping.

Les modes de rupture modélisées relatives à la verse Lucy sont :

- Rupture par glissement ;
- Rupture par phénomène de piping ;
- Rupture par liquéfaction statique.

La localisation du point de rupture est située au niveau du profil le plus critique CH600.

Pour le bassin des eaux de contact Nord, la rupture de la digue par glissement a été modélisée.

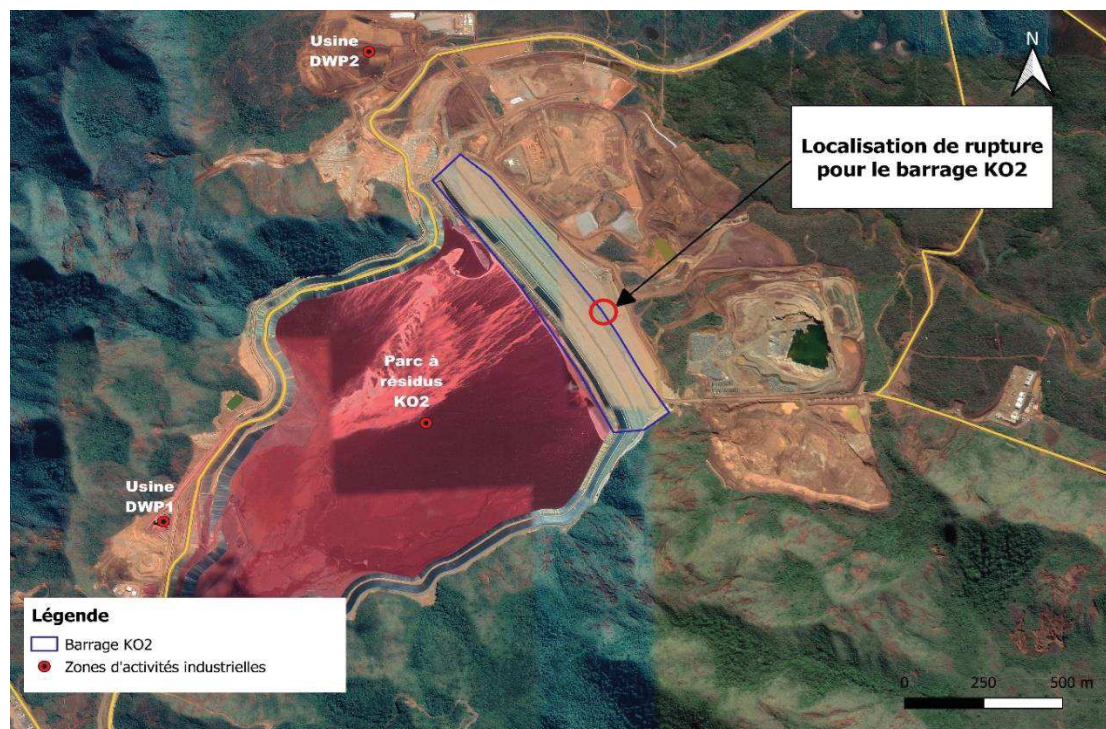


Figure 114 : Localisation du point de rupture pour le barrage KO2 pendant la phase des travaux préparatoires

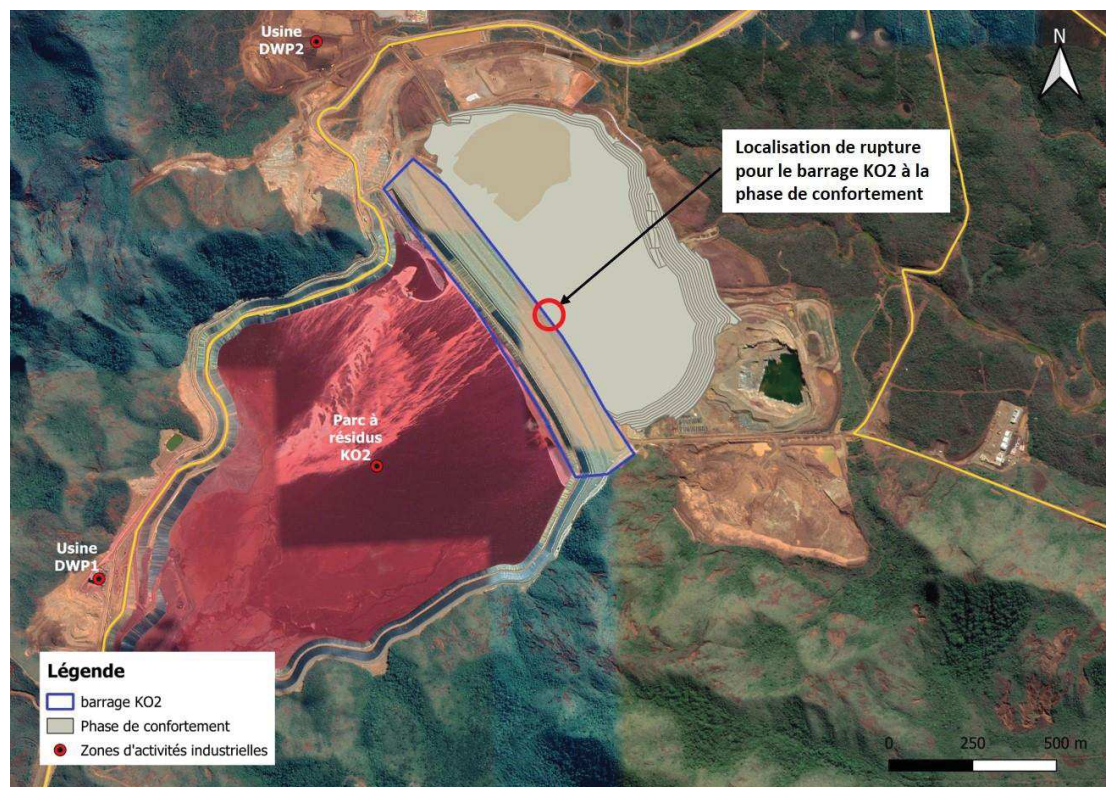


Figure 115 : Localisation du point de rupture pour le barrage KO2 (phase de confortement)

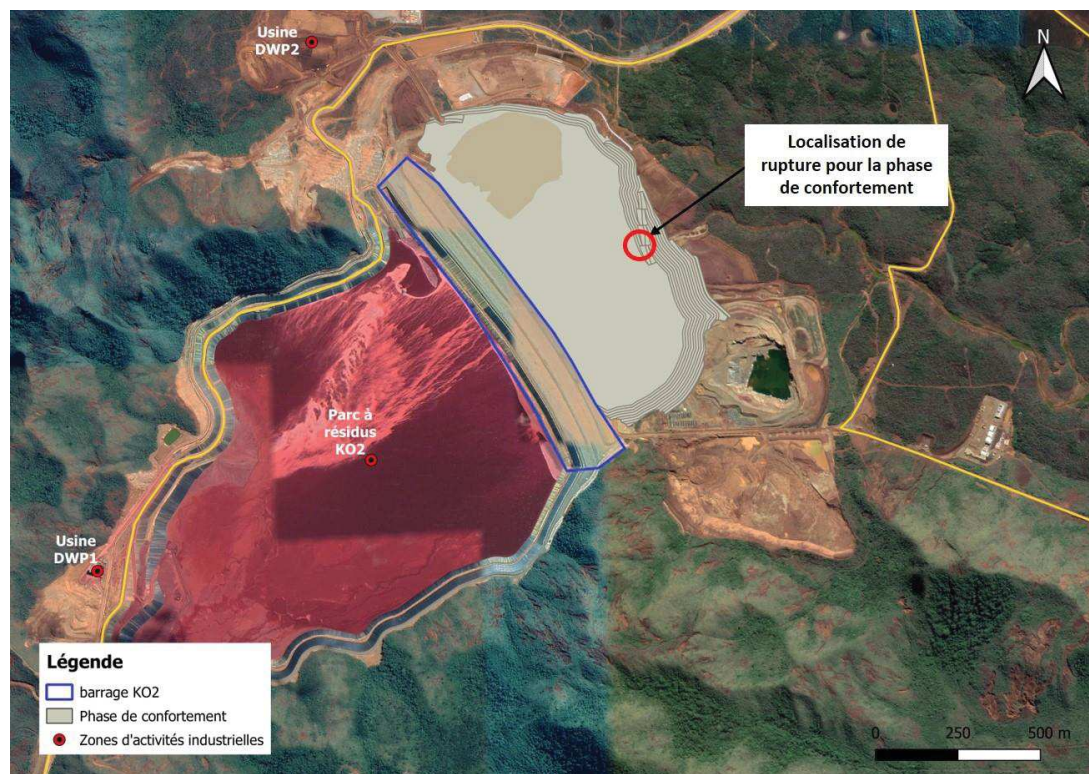


Figure 116 : Localisation du point de rupture pour la verse Lucy (phase de confortement)

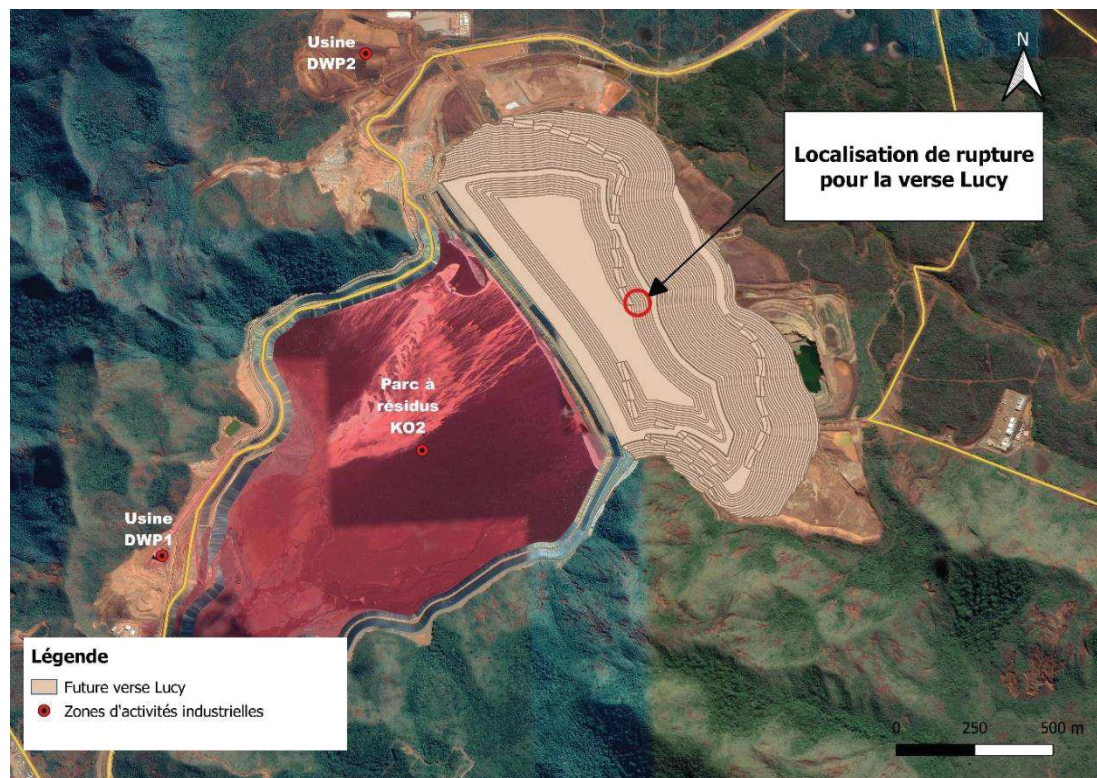


Figure 117 : Localisation du point de rupture pour la verse Lucy (phase finale/fermeture)

8.4.2 Paramètres retenus pour la modélisation

8.4.2.1 Les volumes potentiellement mobilisables en cas de rupture du barrage KO2 et ou de la verse

Les volumes potentiellement mobilisables sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 86 : Volumes relâchés en cas de rupture

Infrastructures	Scénario	Volume de stockage total (m³)	Volume déplacé (m³)	Pourcentage du volume déplacé (%)	Justifications
Barrage	Rupture par glissement / Renard	45 000 000	12 200 000	27%	Nous avons supposé qu'au-delà des 11 premiers mètres de profondeur les résidus stockés dans le parc à résidus sont consolidés et ne seront pas mobilisés en cas de rupture du barrage. Selon les courbes Hauteur – Volume -Surface du bassin de stockage des résidus KO2, le volume de résidus stockés correspondant à 11 m de profondeur est de l'ordre de 10,8 Mm³ auquel on a rajouté le volume d'eau opérationnel qui est égal à 1,4 Mm³. Cette hypothèse est justifiée par les essais CPTu réalisés sur les résidus humides stockés dans le bassin de stockage des résidus KO2. Toutefois, un scénario de rupture de barrage avec un volume relâché correspondant à 75% du volume total stocké (selon l'évènement de rupture du barrage de Brumadinho survenu en 2019) a été étudié. Ce scénario est présenté en Annexe R.
	Rupture par débordement	45 000 000	30 000 000	66%	D'après les courbes Hauteur – Volume -Surface, le bassin de stockage des résidus KO2 dispose en 2022 une capacité de stockage de 15 Mm³ jusqu'à atteindre la cote 229 à laquelle on a rajouté un volume de 4,3 Mm³ qui correspond au volume d'eau jusqu'à la cote 232. En cas de débordement à l'état actuel, le volume d'eau mobilisé est 19,2 Mm³ auquel on a rajouté 10,8 Mm³ qui correspond au volume de résidus non consolidés.
Verse en phase de confortement	Rupture par glissement	6 583 000	800 000	—	Volume calculé par le logiciel Clara. Le logiciel calcule le volume mobilisé en cas de rupture.
	Rupture par effet Renard	6 583 000	320 000	—	En cas de rupture d'une conduite à la base de la verse, nous avons supposé une zone d'influence de 30 m autour de la conduite. La longueur totale de l'ouvrage d'extension traversant la base de la verse est 350 m. La hauteur de la verse en phase de confortement au-dessus de l'ouvrage d'extension est de l'ordre de 30m. En simulant une rupture au début de l'ouvrage d'extension, le volume relâché sera égal à 320 000 m³ (30*350 *30).
Verse en phase finale	Rupture par glissement	32 000 000	2 600 000	8%	Volume calculé par le logiciel Clara. Le logiciel calcule le volume mobilisé en cas de rupture.
	Rupture par effet Renard	32 000 000	320 000	1%	Nous avons gardé le même volume que celui de la phase de confortement.
	Rupture par liquéfaction	32 000 000	32 000 000	100%	Scénario très pessimiste. Liquéfaction statique de la verse et libération de tout le volume.
Bassin des eaux de contact Nord	Rupture par glissement	367 500	365 500	100%	Rupture du bassin et relâchement du volume total

8.4.2.2 Concentration volumique des résidus libérés

La concentration volumique des résidus libérés (résidus+ eau) a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$\text{Concentration volumique en matière solide : } C_v = \frac{V_s}{V_{\text{tot}}} = \frac{m_s}{\gamma_s \cdot V_t}$$

Avec : V_s : Volume des particules solides et V_{tot} : Volume total.

Pour les résidus asséchés, stockés en verse, nous avons pris la valeur de C_v de 0.55 qui correspond à la valeur limite du logiciel.

Cette valeur a été validée par le concepteur du logiciel pour les cas de simulation de rupture de verse.

Les volumes relâchés et la concentration volumique des solides retenus pour la modélisation sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 87 : Paramètres retenus pour la modélisation

Infrastructures	Phase	Scénario	Largeur de la brèche (m)	Volume relâché (Mm³)	C_v (Concentration volumique des solides)
Barrage	Phase préparatoire avant confortement	Rupture par glissement	1000	12.2	0.31
		Rupture par débordement	105	30	0.12
		Rupture par effet Renard	90	12.2	0.31
	Confortement	Rupture par glissement	1000	12.2	0.31
		Rupture par débordement	105	30	0.12
		Rupture par effet Renard	90	12.2	0.31
Verse Lucy	Confortement	Rupture par glissement	200	0.8	0.55
		Rupture par effet Renard	30	0.32	0.55
	Phase finale	Rupture par glissement	200	2.6	0.55
		Rupture par effet Renard	30	0.32	0.55
		Rupture par liquéfaction	—	32	0.55
Bassin des eaux de contact Nord	Phase finale	Rupture par glissement		0.36	0

8.4.3 Les hydrogrammes de crue

L'hydrogramme de la crue générée est déterminé par la méthode du seuil :

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot H \cdot t^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

Avec

- $Q(t)$: Débit instantané évacué à la sortie de la zone effondrée (m^3/s) ;
- $H(t)$: Hauteur instantanée d'eau sur le seuil (m) ;
- L : Largeur du seuil (m) ;
- μ : Coefficient de débit.

Les hydrogrammes de crue ont été classés selon les scénarios :

8.4.3.1 Rupture du barrage par glissement

Dans le scénario de rupture du barrage KO2 par glissement, le débit à la sortie de l'ouvrage atteindra $73\,000\text{ m}^3/\text{s}$. La durée de vidange sera de l'ordre de 30 min. (Cf. Figure 118).

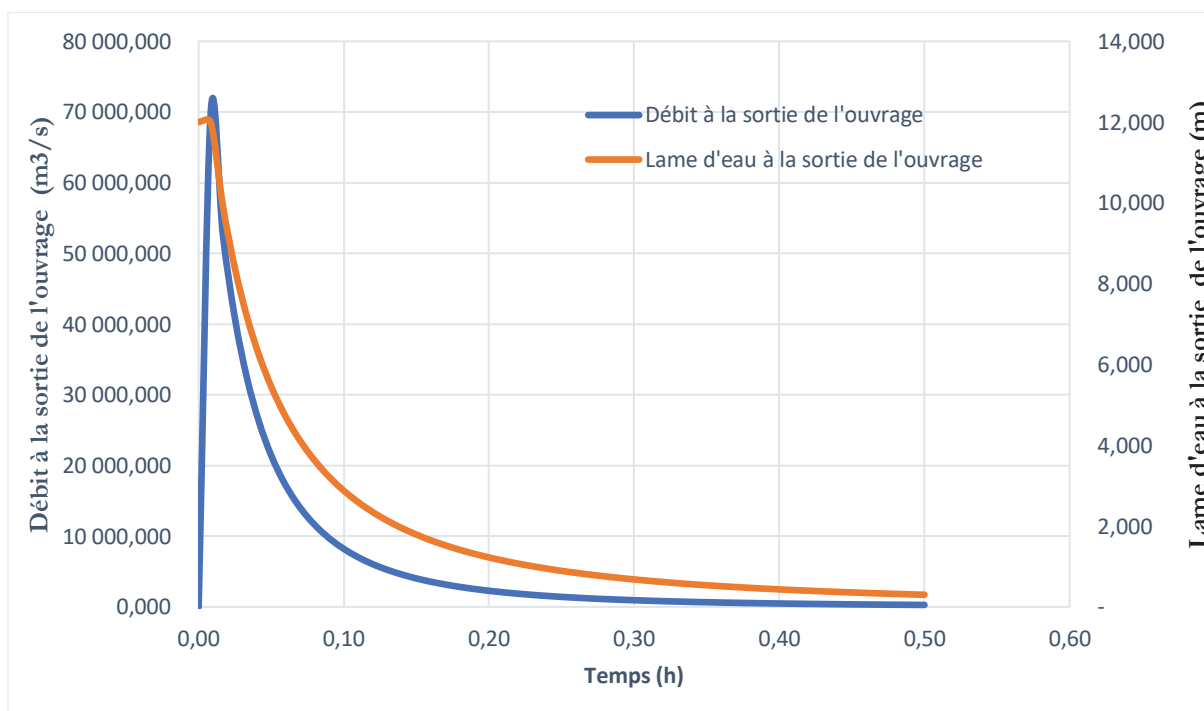


Figure 118 : Hydrogramme de la crue générée par la rupture du barrage KO2 par glissement, sur une largeur de 1000 m, volume déversé 12 200 000 m^3

8.4.3.2 Rupture du barrage par débordement

Dans le scénario de rupture du barrage KO2 par débordement, le débit à la sortie de l'ouvrage atteindra $9900\text{ m}^3/\text{s}$. La durée de vidange sera de l'ordre de 20 heures. (Cf. Figure 119).

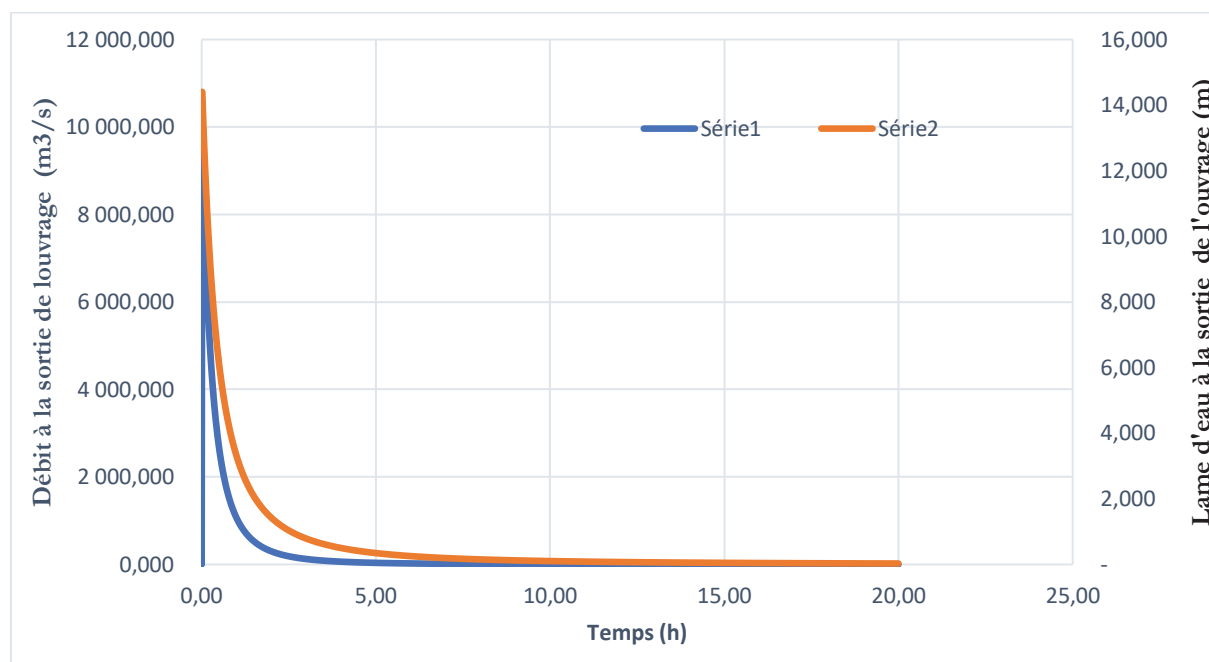


Figure 119 : Hydrogramme de la crue générée par la rupture du barrage KO2 par débordement sur une largeur de 105 m, volume déversé 16 030 000 m³

8.4.3.3 Rupture par phénomène de piping

Dans le scénario de rupture du barrage KO2 par phénomène de piping, le débit à la sortie de l'ouvrage atteindra 6500 m³/s. La durée de vidange sera de l'ordre de 17 heures. (Cf. Figure 120).

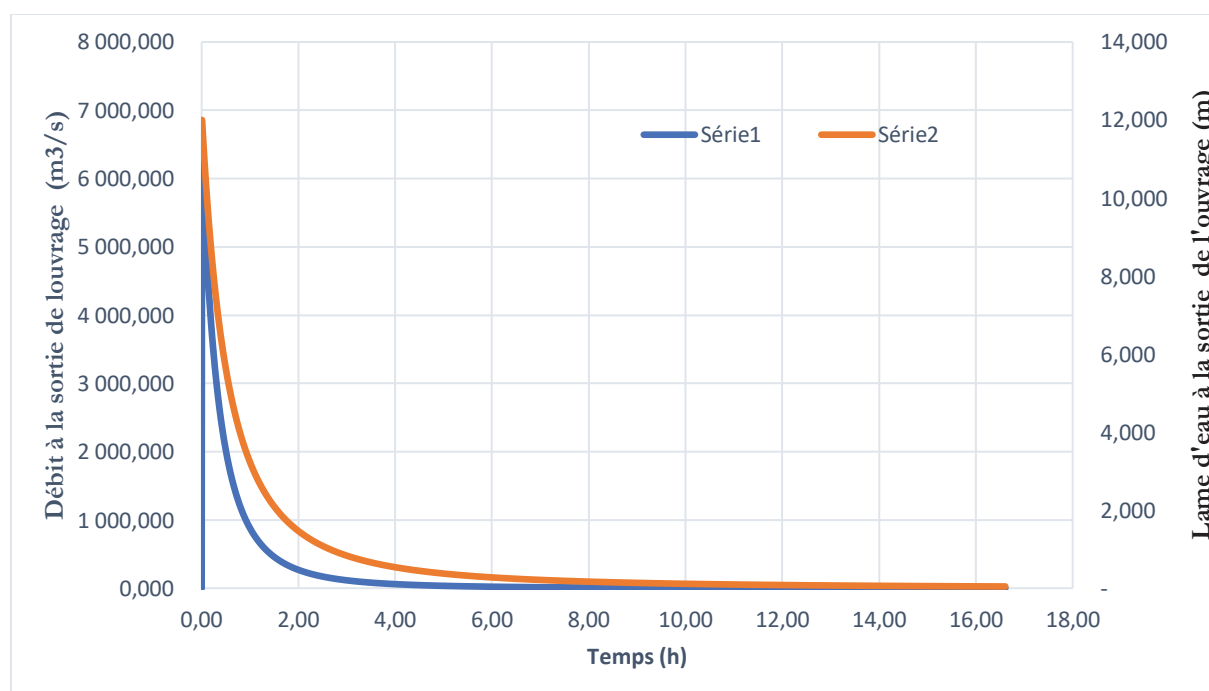


Figure 120 : Hydrogramme de la crue générée par la rupture du barrage KO2 par phénomène de piping sur une largeur de 90 m, volume déversé 12 200 000 m³

8.5 Résultats de la modélisation

Les résultats de la modélisation de la rupture du barrage KO2 et de la verse Lucy sont présentés en Annexe O.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de la vague d'écoulement engendrée par la rupture du barrage KO2 et de la verse Lucy :

Tableau 88 : Récapitulatif des vagues d'écoulements causées par la rupture

Infrastructures	Scénario	Longueur du plus long chemin parcouru par la vague d'écoulement (km)	Surface impactée (ha)	Infrastructures impactées	Hauteur maximale (m)	Temps d'arrivée (h)
Barrage (à la phase préparatoire avant confortement)	Rupture par glissement	9.58	453.73	Route de l'Aérodrome	>10	0.15
				Route de Goro	>10	0.2
				Route de Col de Port Boisé	0.5	0.37
	Rupture par débordement	8.76	262.51	Route de l'Aérodrome	>10	0.2
				Route de Goro	>10	0.3
				Route de Port Boisé	2.5	0.5
	Rupture par effet Renard	9.59	263.45	Route de l'Aérodrome	>10	0.2
				Route de Goro	>10	0.3
Barrage (à la phase de confortement)	Rupture par glissement	10	424.76	Route de l'Aérodrome	>10	0.15
				Route de Goro	>10	0.2
	Rupture par débordement	9.28	273.95	Route de l'Aérodrome	>10	0.19
				Route de Goro	>10	0.34
	Rupture par effet Renard	10	278.16	Route de l'Aérodrome	>10	0.23
				Route de Goro	>10	0.4
Confortement	Rupture par glissement	9.06	82,901	Route de l'Aérodrome	1.2	0.34
				Route de Goro	1.7	0.52
		8.98	90.29	Route de l'Aérodrome	2	0.24

Infrastructures	Scénario	Longueur du plus long chemin parcouru par la vague d'écoulement (km)	Surface impactée (ha)	Infrastructures impactées	Hauteur maximale (m)	Temps d'arrivée (h)
	Rupture par effet Renard			Route de Goro	3	0.345
Verse Lucy	Rupture par glissement	8.46	177.76	Route de l'Aérodrome	4	0.177
				Route de Goro	5	0.252
	Rupture par effet Renard	9.00	90.29	Route de l'Aérodrome	2	0.245
				Route de Goro	3.25	0.344
	Rupture par liquéfaction statique	8.42	759.745	Réserve naturelle de la forêt Nord	>10	0.056
				Route de Goro	>10	0.205
				Route de l'Aérodrome	>10	0.125
				Route de Port Boisé	7.2	1.28
				Route de Col de Port boisé	6.75	0.258
				Piste reliée entre la mine de Goro , l'usine DWP1 et la base vie	>10	0.024

8.6 Analyse préliminaire des risques

L'APR a permis de mettre en évidence les scénarios pouvant avoir des conséquences de gravité modérées à désastreuses sur les personnes ou sur l'environnement lors des différentes phases de construction de la verse Lucy. L'APR est synthétisée dans ce paragraphe.

Il est à noter que le parc à résidus KO2 reste opérationnel pendant la durée de vie de la verse Lucy. Les scénarios d'accident du parc à résidus KO2 pendant la phase d'exploitation sont étudiés et actualisés dans le cadre de cette présente étude en tenant compte des travaux préparatoires et de la verse Lucy.

La phase fermeture concerne les deux ouvrages (parc à résidus KO2 et verse Lucy).

8.6.1 Analyse préliminaire des risques pendant la phase des travaux préparatoires (avant stockage des résidus)

L'analyse préliminaire des risques pendant la phase des travaux préparatoires a permis d'étudier les scénarios d'accidents potentiels en relation avec le parc à résidus KO2 en tenant compte de la situation actuelle du site et des travaux préparatoires achevés avant le démarrage de stockage des résidus.

Selon le phasage de construction des ouvrages, les travaux suivants seront achevés :

- ➔ Extension du drain horizontal 220N ;
- ➔ Extension du drain horizontal 206S ;
- ➔ Extension du drain de dérivation sud ;
- ➔ Construction de l'ouvrage d'extension du réseau de sous drainage KO2 et des drains de pied sans raccordement avec le réseau actuel.

Pendant cette phase, l'évacuateur de crues, dont les travaux sont actuellement en cours de finalisation, est supposé achevé et fonctionnel permettant d'évacuer la crue CMP.

Le tableau présentant l'évaluation préliminaire des risques relatifs est présenté en Annexe P du présent document.

Il s'agit du tableau réalisé dans le cadre de l'EDD du parc à résidus KO2 mis à jour en tenant compte de la situation actuelle du site et des travaux achevés.

En effet, plusieurs scénarios ne sont plus d'actualité dont notamment les scénarios suivants :

- ➔ Rupture du barrage par érosion du pied aval du barrage par les exutoires du drain de dérivation sud et du drain horizontal sud (drainage de sous banquettes) due à un défaut de conception de la protection existante (enrochement) ou absence de moyen de protection efficace ;
- ➔ Crue $>$ à Q_{100} pendant 10 jours et évacuateur de crue non fonctionnel entraînant une rupture du barrage KO2 ;

- ➔ Scénarios d'accidents relatifs aux stations de décharge : stations actuellement cimentées et non fonctionnelles ;
- ➔ Scénarios d'accidents relatifs aux deux cellules de suivi : actuellement démantelées.

L'analyse des risques a permis de mettre en évidence 13 évènements redoutés, dont 4 retenus pour l'ADR.

Tableau 89 : Evènements redoutés identifiés pendant la phase des travaux préparatoires

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 90
Phénomène de piping pendant la phase des travaux préparatoires	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable. Événement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires " 	Cf. Tableau 91
Débordement par le barrage pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable.	Cf. Tableau 92
Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 93
Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 94
Envol de poussières de résidus pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 95

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Débordement du puits de pompage aval pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 96
Perte de capacité de stockage des résidus et des évènements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 97
Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 98
Débordement d'un ou plusieurs fossés de pied aval du barrage pendant la phase des travaux préparatoires "	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 99
Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 100
Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 101

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 102

Les 4 ERC retenus pour l'ADR sont les suivants :

- ➔ Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires ;
- ➔ Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires ;
- ➔ Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires ;
- ➔ Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires.

Les différents scénarios qui comprennent ces ERC seront détaillés dans l'ADR via les représentations en nœud papillon.

8.6.1.1 Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 90 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evènement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/ Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage avec sa fondation et ses appuis	Instabilité dans les fondations	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps du barrage et/ou dans les fondations	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Débordement du barrage entraînant une érosion du corps du barrage et une instabilité	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Vibration causée par l'activité de la carrière Audemard à proximité	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/ Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Colmatage de la cheminée drainante du corps en remblais et/ou du tapis drainant situé à la base du barrage, entre les fondations et les remblais	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	5D	4D	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Crue Q100 pendant 10 jours	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Crue CMP	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
Système de drainage situé sous la géomembrane (comprend les drains primaires, secondaires et tertiaires ainsi que les 4 conduites traversant le barrage)	Colmatage des drains et/ou des conduites de drainage sous la géomembrane	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant le barrage	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
3 fossés (ou drains) de pied en aval du barrage (fossé nord, sud et central)	Erosion d'un ou plusieurs fossés	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.1.2 Phénomène de piping pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 91 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC
« Phénomène de piping pendant la phase des travaux préparatoires »**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage avec sa fondation et ses appuis	Dégradation de la géomembrane au niveau du parement amont du barrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires "
	Défaillance du système de drainage des eaux sous la géomembrane et/ou des 4 conduites	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires "
	Erosion autour de la conduite traversant les fondations des appuis du barrage reliant le drain de sous-banquette 206 (sud) et l'aval du barrage, et défaut d'étanchéité de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR/Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires "

8.6.1.3 Débordement par le barrage pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 92 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC
« Débordement par le barrage pendant la phase des travaux préparatoires »**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage	Tassement incontrôlé du corps de l'ouvrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Tassement incontrôlé de la fondation	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vent violent entraînant un débordement par vagues	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Evacuateur de crues	Eboulement ponctuel : obstruction totale ou partielle de l'évacuateur de crue et crue > à Q100 pendant 10 jours	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.4 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 93 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC
« Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase
des travaux préparatoires »**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Evacuateur de crues	Crue CMP	3E	1E	Scénario retenu pour l'ADR
Bassin de stockage	Non-conformité du dépôt de résidus	3E	2E	Scénario retenu pour l'ADR
	Non-conformité des résidus en pulpe produite par l'usine de traitement	3E	2E	Scénario retenu pour l'ADR
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à 220 m et leurs exutoires	Colmatage des drains suite à une perte d'intégrité de la géomembrane	3D	3D	Scénario retenu pour l'ADR
	Affaissement et rupture de talus causé par la présence de doline.	3D	3D	Scénario retenu pour l'ADR
Système de pompage installé sur la barge dans l'aire de stockage	Fragilité/vieillesse	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
Pompes (3 principales et 1 pompe de secours)	Perte d'alimentation électrique par rupture du câble flottant (rupture par contrainte, rupture lors de visite en bateau)	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Perte d'alimentation électrique due à un arrêt de fonctionnement de la salle électrique	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Défaillance d'une ou plusieurs vannes entraînant la perte de contrôle du débit de pompage	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.1.5 Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 94 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC
« Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase des travaux préparatoires »**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Talus et banquettes non noyées par les dépôts	Glissement local de talus	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane à l'air libre	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation de la géomembrane suite à un départ de feu	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vents violents	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane noyée	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.6 Envol de poussières de résidus pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 95 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Envol de poussières de résidus pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Bassin de stockage des résidus	Vent violent entraînant un envol de poussières	1C	1C	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.7 Débordement du puits de pompage aval pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 96 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Puits de pompage en aval du barrage (comprend 4 pompes principales, 1 pompe de secours et un groupe électrogène de secours)	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.8 Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 97 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase des travaux préparatoires »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains Nord et Sud (fossés) de dérivation des eaux de ruissellement des versants et bassin Nothofagus	Obstruction partielle ou totale d'un ou des deux drains, et/ou du bassin Nothofagus	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation localisée d'un ou des deux drains, et/ou du bassin Nothofagus	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q10	1D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
Canalisation de transfert des eaux surnageantes le long de l'aire de stockage KO2	Fragilité/vieillesse	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Séisme	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
Pompes (3 principales et 1 pompe de secours)	Perte d'alimentation électrique par rupture du câble flottant (rupture par contrainte, rupture lors de visite en bateau)	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Perte d'alimentation électrique due à un arrêt de fonctionnement de la salle électrique	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Défaillance d'une ou plusieurs vannes entraînant la perte de contrôle du débit de pompage	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
				l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires

8.6.1.9 Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 98 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à 220 m et leurs exutoires	Perte d'intégrité du système d'étanchéité	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.10 Débordement d'un ou plusieurs fossés de pied aval du barrage pendant la phase des travaux préparatoires "

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 99 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC
« Débordement d'un ou plusieurs fossés de pied aval du barrage pendant la phase des travaux préparatoires »**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Fossés (ou drains) de pied en aval du barrage (fossé nord, sud et central)	Obstruction partielle ou totale d'un ou plusieurs drains par la présence de fines	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q5	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.11 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 100 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des résidus dans l'aire de stockage étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites, leurs appuis, les points de déposition)	Fragilité/vieillesse des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou une erreur d'opération	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Séisme	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.1.12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 101 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites et leurs appuis au sol)	Fragilité/vieillessement des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou une erreur d'opération	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.1.13 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 102 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée	Fragilité/vieillessement des lignes	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.2 Analyse préliminaire des risques (phase de confortement)

L'analyse préliminaire des risques en phase de confortement a permis d'étudier les scénarios d'accidents possibles en relation avec le parc à résidus KO2 en tenant compte des travaux préparatoires finalisés et des travaux de construction de la verse jusqu'à la phase de confortement, c'est-à-dire jusqu'à la phase 7.

Selon le phasage de construction des ouvrages, les travaux suivants seront finalisés à la phase 7 de construction de la verse :

➔ Traitement des drains de pied du barrage KO2 et finalisation de l'ouvrage d'extension du réseau de sous drainage KO2 et des drains de pied avec raccordement avec le réseau actuel ;

- ➔ Construction du nouveau puits de pompage aval ;
- ➔ Construction du bassin des eaux de contact Nord.
- ➔ Travaux de construction du réseau de sous drainage de la verse Lucy ;
- ➔ Travaux de construction de la barrière étanche ;
- ➔ Travaux de construction du réseau de drainage des eaux de percolation de la verse Lucy.

Le tableau présentant l'évaluation préliminaire des risques relatifs est présenté en Annexe P du présent document.

Il s'agit du tableau réalisé pendant la phase des travaux préparatoires mis à jour en tenant compte des travaux achevés.

En effet, plusieurs scénarios ne sont plus d'actualité dont notamment les scénarios suivants :

- ➔ Scénarios d'accidents relatifs à l'ancien puits de pompage aval (puits démantelé pendant cette phase) ;
- ➔ Scénarios d'accidents relatifs aux drains de pied du barrage KO2 : drains canalisés (absence de risque d'érosion ou de débordement).

D'autres scénarios ont été rajoutés pendant cette phase. Il s'agit de scénarios en relation avec les nouveaux ouvrages dont notamment les ouvrages d'extension des réseaux existants du parc à résidus KO2 ainsi que les scénarios en relation avec la verse Lucy et ses ouvrages associés.

L'analyse des risques a permis de mettre en évidence 26 évènements redoutés, dont 7 retenus pour l'ADR.

Tableau 103 : Evènements redoutés identifiés (phase de confortement)

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Rupture du barrage (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 104
Phénomène de piping (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 105
Débordement par le barrage (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 106
Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 107

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Percolation dans le milieu souterrain (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 108
Envol de poussières de résidus (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 109
Phénomène de piping dans la verse (phase de confortement)	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable. Evènement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse (phase de confortement). 	Cf. Tableau 110
Débordement du puits de pompage aval (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable.	Cf. Tableau 111
Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux suite à une perte de contrôle du niveau d'eau dans le parc à résidus (phase de confortement)	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable. Evènement initiateur directe de l'ERC : Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement) 	Cf. Tableau 112
Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 113
Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 114

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 115
Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 116
Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 117
Rupture de la verse (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 118
Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 119
Difficulté d'accès pendant la période sèche (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 120
Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 121
Dégradation des conditions de stabilité de la verse (phase de confortement)	NON	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de risque acceptable ; • Evénement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse (phase de confortement) 	Cf. Tableau 122

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse (phase de confortement)	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable ; Événement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse (phase de confortement) 	Cf. Tableau 123
Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation dans la verse (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 124
Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Cf. Tableau 125
Débordement des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin Nord (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 126
Phénomène de Piping dans le bassin Nord (phase de confortement)	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable ; Événement initiateur directe de l'ERC : Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement) 	Cf. Tableau 127
Dégradation des conditions de stabilité du bassin Nord (phase de confortement)	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable ; Événement initiateur directe de l'ERC : Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement) 	Cf. Tableau 128

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin nord vers le bassin KO2 (phase de confortement)	NON	Zone de risque acceptable	Cf. Tableau 129

Les 7 ERC retenus pour l'ADR sont les suivants :

- ➔ Rupture du barrage (phase de confortement) ;
- ➔ Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement) ;
- ➔ Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement) ;
- ➔ Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement) ;
- ➔ Rupture de la verse (phase de confortement) ;
- ➔ Envol de poussières de résidus (phase de confortement) ;
- ➔ Rupture du bassin des eaux de contact Nord (phase de confortement).

Les différents scénarios qui comprennent ces ERC seront détaillés dans l'ADR via les représentations en nœud papillon.

8.6.2.1 Rupture du barrage (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 104 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture du barrage (phase de confortement) »

Ouvrage	Evènement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage avec sa fondation et ses appuis	Instabilité dans les fondations	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps du barrage et/ou dans les fondations	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Débordement du barrage entraînant une érosion du	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	corps du barrage et une instabilité			
	Vibration causée par l'activité de la carrière Audemard à proximité	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Colmatage de la cheminée drainante du corps en remblais et/ou du tapis drainant situé à la base du barrage, entre les fondations et les remblais	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Crue Q100 pendant 10 jours	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Crue Maximale probable (CMP)	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
Système de drainage situé sous la géomembrane (comprend les drains primaires, secondaires et tertiaires ainsi que les 4 conduites traversant le barrage)	Colmatage des drains et/ou des conduites de drainage sous la géomembrane	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant le barrage	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
Ouvrage d'extension des drains de pieds et du système de sous drainage sous la verse	Colmatage des conduites traversant la verse	5E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.2.2 Phénomène de piping (phase de confortement

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 105 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC «
Phénomène de piping (phase de confortement)»**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage	Dégradation de la géomembrane au niveau du parement amont du barrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage (phase de confortement) "
	Défaillance du système de drainage des eaux sous la géomembrane et/ou des 4 conduites	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage (phase de confortement) "
	Erosion autour de la conduite traversant les fondations des appuis du barrage reliant le drain de sous-banquette 206 (sud) et l'aval du barrage, et défaut d'étanchéité de la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du barrage (phase de confortement) "

8.6.2.3 Débordement par le barrage (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 106 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC «
Débordement par le barrage (phase de confortement) »**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage	Tassement incontrôlé du corps de l'ouvrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Tassement incontrôlé de la fondation	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vent violent entraînant un débordement par vagues	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Evacuateur de crues	Eboulement ponctuel : obstruction totale ou partielle de l'évacuateur de crue et crue > à Q100 pendant 10 jours	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.4 Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 107 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Evacuateur de crue	Crue CMP	3E	1E	Scénario retenu pour l'ADR
Résidus	Non-conformité du dépôt de résidus	3E	2E	Scénario retenu pour l'ADR
	Non-conformité des résidus en pulpe produite par l'usine de traitement	3E	2E	Scénario retenu pour l'ADR
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à 220 m et leurs exutoires	Colmatage des drains suite à une perte d'intégrité de la géomembrane	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Affaissement et rupture de talus causé par la présence de doline.	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
Canalisation de transfert des eaux surnageantes le long de l'aire de stockage KO2	Fragilité/vieillesse des lignes	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
Pompes (3 principales et 1 pompe de secours)	Perte d'alimentation électrique par rupture du câble flottant (rupture par contrainte, rupture lors de visite en bateau)	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Perte d'alimentation électrique due à un arrêt de fonctionnement de la salle électrique	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Défaillance d'une ou plusieurs vanne entraînant la perte de contrôle du débit de pompage	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.2.5 Percolation dans le milieu souterrain (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 108 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC «
Percolation dans le milieu souterrain (phase de confortement)»**

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Talus et banquettes non noyées par les dépôts	Glissement local de talus	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane à l'air libre	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation de la géomembrane suite à un départ de feu	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vents violents	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane noyée	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de drainage des eaux de percolation de la verse	Colmatage du système de drainage des eaux d'infiltration	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due au tassement différentiel de la fondation	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due à la présence de dolines	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Couche de latérite compacté (barrière étanche)	Défaillance de la barrière d'étanchéité	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par tassement différentiel	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par la présence de doline	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Système d'étanchéité du bassin des eaux contact Nord	Dégradation de la géomembrane	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de collecte des fuites au niveau du bassin des eaux de contact Nord	Perte d'alimentation électrique	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de la pompe	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de la pompe par foudroiement	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.6 Envol de poussières de résidus (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 109 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Envol de poussières de résidus (phase de confortement) »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Bassin de stockage des résidus KO2	Vent violent entraînant un envol de poussières	1C	1C	Scénario non retenu pour l'ADR

	ETUDE DE DANGERS DU PARC A RESIDUS KO2 ET DE LA VERSE LUCY	
---	---	---

Verse Lucy	Vent violent entraînant un envol de poussières	2C	1C	Scénario retenu pour l'ADR
------------	--	----	----	----------------------------

8.6.2.7 Phénomène de piping dans la verse (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 110 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de piping dans la verse (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Ouvrage d'extension des drains de pieds et du système de sous drainage sous la verse	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant la verse	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Séisme	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
Extension des drains horizontaux sous la verse	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant la verse	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Séisme	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"

8.6.2.8 Débordement du puits de pompage aval (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 111 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Nouveau puits de pompage en aval de la verse (comprend un système de pompage)	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.9 Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 112 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains Nord et Sud (fossés) de dérivation des eaux de ruissellement des versants et bassin Nothofagus	Obstruction partielle ou totale d'un ou des deux drains, et/ou du bassin Nothofagus	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation localisée d'un ou des deux drains, et/ou du bassin Nothofagus	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q10	1D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
Canalisation de transfert des eaux surnageantes le long de l'aire de stockage KO2	Fragilité/vieillessement des lignes	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Séisme	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Pompes (3 principales et 1 pompe de secours)	Perte d'alimentation électrique par rupture du câble flottant (rupture par contrainte, rupture lors de visite en bateau)	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)"
	Perte d'alimentation électrique due à un arrêt de fonctionnement de la salle électrique	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)"
	Défaillance d'une ou plusieurs vannes entraînant la perte de contrôle du débit de pompage	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)"
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)"
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)"
Verse	Difficulté d'accès à la verse	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.10 Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 113 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de confortement)»

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à 220 m et leurs exutoires	Perte d'intégrité du système d'étanchéité	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.11 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 114 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée (phase de confortement)»

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des résidus dans l'aire de stockage étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites, leurs appuis, les points de déposition)	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillesse des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Séisme	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 115 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)»

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites et leurs appuis au sol)	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillesse des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.2.13 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 116 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée	Fragilité/vieillesse des lignes	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.2.14 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 117 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillesse des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.15 Rupture de la verse (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 118 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture de la verse (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Verse à Résidus asséchés	Défaut de stabilité	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps du barrage et ou/ de la verse et/ou dans les fondations	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Non respect de la cadence de stockage et dégradation des conditions de stabilité de la verse associée à une défaillance des renforts enrochés	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR;

8.6.2.16 Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 119 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Casiers de stockage	Non respect de la séquence de remplissage des casiers	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Non respect du sens de poussage et des pente	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de drainage des casiers de stockage	Bouchage des buses	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Descentes d'eau	Dysfonctionnement des descentes d'eau	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q 100	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.17 Difficulté d'accès pendant la période sèche (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 120 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période sèche (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Renforts internes non enrochés	Dysfonctionnement des renforts internes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.18 Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 121 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Renforts internes et externes enrochés	Dysfonctionnement des renforts enrochés	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.19 Dégradation des conditions de stabilité de la verse (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 122 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité de la verse (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Renforts internes et externes enrochés	Dysfonctionnement des renforts enrochés	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"

8.6.2.20 Dégradation des conditions de stabilité des fondations et de la base de la verse (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 123 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité des fondations et de la base de la verse (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrière étanche (Couche de latérite compactée)	Défaillance de la barrière d'étanchéité	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par tassement différentiel	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par la présence de doline	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
Système de drainage des eaux de percolation de la verse	Colmatage du système de drainage des eaux d'infiltration	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due au tassement différentiel de la fondation	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due à la présence de dolines	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
Système de drainage des sous écoulements y compris sources WK17 et WK20	Colmatage du système de drainage des sous écoulements	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Défaillance du système de drainage dû au tassement différentiel de la fondation	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de dolines	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de confortement)"

8.6.2.21 Débordement des puisards de collecte des eaux d'infiltration (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 124 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des puisards de collecte des eaux d'infiltration (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Puisards de stockage des eaux de percolation de la verse y compris système de pompage vers le puits de pompage aval	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.22 Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 125 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Digue	Dégradation de la stabilité des digues	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps des digues et/ou dans les fondations	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Débordement du bassin entraînant une érosion externe des digues et une instabilité	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.2.23 Débordement des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin Nord (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 126 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin Nord (phase de confortement) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Bassin	Fortes précipitations	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de pompage des eaux de contact vers le parc à résidus KO2	Perte d'alimentation électrique	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.2.24 Phénomène de Piping dans le bassin Nord (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 127 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de Piping dans le bassin Nord (phase de confortement)»

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Système d'étanchéité	Dégradation de la géomembrane	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)"

8.6.2.25 Dégradation des conditions de stabilité du bassin Nord (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 128 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité du bassin Nord (phase de confortement)»

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Système de drainage des sous écoulements	Colmatage et /ou défaillance du système de drainage des sous écoulements du bassin nord	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)"

8.6.2.26 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin nord vers le bassin KO2 (phase de confortement)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 129 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin nord vers le bassin KO2 (phase de confortement)»

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux du bassin nord vers le bassin de stockage KO2	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillesse des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3 Analyse préliminaire des risques (phase finale de la verse Lucy)

L'analyse préliminaire des risques en phase de finale a permis d'étudier les scénarios d'accidents possibles en relation la verse Lucy et ses ouvrages associés ainsi que les scénarios d'accidents encore possibles du parc à résidus après la construction de la verse à la cote finale.

Selon le phasage de construction des ouvrages, les travaux suivants seront achevés avant le démarrage de la phase 8 de construction de la verse :

- Construction du bassin des eaux de contact Sud ;
- Construction du bassin des eaux de contact central.

Le tableau présentant l'évaluation préliminaire des risques est présenté en Annexe P du présent document.

Il s'agit du tableau réalisé pour la phase des travaux de confortement mis à jour en tenant compte des travaux achevés.

En effet, plusieurs scénarios ne sont plus d'actualité dont notamment les scénarios suivants :

- ➔ Rupture du barrage KO2 (le barrage KO2 sera confiné par la verse Lucy). Certains événements initiateurs liés à la rupture du barrage KO2 restent valables dont notamment, le phénomène de piping et le débordement du barrage KO2.
- ➔ Débordement des eaux de contact et rejet à l'environnement par l'évacuateur de crues du bassin Nord pendant la phase de confortement : le bassin nord sera connecté au bassin central à travers un évacuateur de crues et un système de récupération des eaux de contact permettant d'acheminer gravitairement les eaux de contact du bassin Nord vers le bassin central. L'évacuateur de crues provisoire sera démantelé.

D'autres scénarios ont été rajoutés pendant cette phase. Il s'agit de scénarios en relation avec les nouveaux ouvrages dont notamment les bassins des eaux de contact Sud et Central.

L'analyse des risques a permis de mettre en évidence 25 évènements redoutés, dont 6 retenus en ADR.

Les 6 ERC retenus pour l'ADR sont les suivants :

- ➔ Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase finale) ;
- ➔ Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale) ;
- ➔ Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale) ;
- ➔ Rupture de la verse (phase finale) ;
- ➔ Envol de poussières de résidus (phase finale) ;
- ➔ Rupture du bassin des eaux de contact Nord (phase finale) .

Les différents scénarios qui comprennent ces ERC seront détaillés dans l'ADR via les représentations en nœud papillon.

Tableau 130 : Evènements redoutés identifiés pendant la phase finale

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Phénomène de piping pendant la phase finale	NON	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de risque acceptable. • Evènement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse pendant la phase finale 	Tableau 131
Rejet incontrôlé des résidus humides et du surnageant dans l'environnement (par débordement du barrage) pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 132
Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Tableau 133

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
de crues pendant la phase finale			
Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 134
Envol de poussières de résidus pendant la phase finale	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire	Tableau 135
Débordement du puits de pompage aval pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 136
Perte de capacité de stockage des résidus et des évènements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase finale	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable. Evènement initiateur directe de l'ERC : Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale 	Tableau 137
Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 138

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 139
"Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase finale	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire	Tableau 140
Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase finale	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire	Tableau 141
Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 142
Rupture de la verse pendant la phase finale	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire	Tableau 143
Ravinement et rejet des résidus asséchés et des eaux de contact dans l'environnement pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 144
Difficulté d'accès pendant la période sèche pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 145

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable.	Tableau 146
Dégradation des conditions de stabilité de la verse pendant la phase finale	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable. Evènement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse pendant la phase finale 	Tableau 147
Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse pendant la phase finale	NON	<ul style="list-style-type: none"> Zone de risque acceptable. Evènement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse pendant la phase finale 	Tableau 148
"Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation pendant la phase finale"	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 149
Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire	Tableau 150
Débordement incontrôlé des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin central pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 151

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin central vers le bassin KO2 pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 152
Phénomène de Piping dans les bassins pendant la phase finale	NON	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de risque acceptable. • Evènement initiateur directe de l'ERC : Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale 	Tableau 153
Dégradation des conditions de stabilité d'un bassin pendant la phase finale	NON	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de risque acceptable. • Événement initiateur directe de l'ERC : Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale 	Tableau 154
Erosion de la descente d'eau N°09 et de l'appuis sud de la verse pendant la phase finale	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 155

8.6.3.1 Phénomène de piping pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 131 Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC «
Phénomène de piping pendant la phase finale»**

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage avec sa fondation et ses appuis	Dégradation de la géomembrane au niveau du parement amont du barrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse pendant la phase finale
	Rupture d'une ou plusieurs des 4 conduites de sous drainage de la géomembrane et défaut d'étanchéité de la géomembrane en fond de bassin	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse pendant la phase finale
	Erosion autour de la conduite traversant les fondations des appuis du barrage reliant le drain de sous-banquette 206 (sud) et l'aval du barrage, et défaut d'étanchéité de la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
Système de drainage situé sous la géomembrane (comprend les drains primaires, secondaires et tertiaires ainsi que les 4 conduites traversant le barrage)	Colmatage des drains et/ou des conduites de drainage sous la géomembrane	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant le barrage	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Séisme	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
Ouvrage d'extension des drains de pieds et du système de sous drainage sous la verse	Colmatage des conduites traversant la verse	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant la verse	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
				l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Séisme	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
Extension des drains horizontaux sous la verse	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant la verse	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Séisme	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale

8.6.3.2 Rejet incontrôlée des résidus humides et du surnageant dans l'environnement pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 132 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rejet incontrôlée des résidus humides et du surnageant dans l'environnement pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage	Tassement incontrôlé du corps de l'ouvrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Tassement incontrôlé de la fondation	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vent violent entraînant un débordement par vagues	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Evacuateur de crues	Eboulement ponctuel : obstruction totale ou partielle de l'évacuateur de crue et crue > à Q100 pendant 10 jours	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.3 Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 133 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Evacuateur de crues	Crue CMP	3E	1E	Scénario retenu pour l'ADR
Résidus (comprend la zone de dépôt et zone de décantation)	Non-conformité du dépôt de résidus	3E	2E	Scénario retenu pour l'ADR
	Non-conformité des résidus en pulpe produite par l'usine de traitement	3E	2E	Scénario retenu pour l'ADR
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à	Colmatage des drains suite à une perte d'intégrité de la géomembrane	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
220 m et leurs exutoires	Affaissement et rupture de talus causé par la présence de doline.	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
Canalisation de transfert des eaux surnageantes le long de l'aire de stockage KO2	Fragilité/vieillesse des lignes	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
Pompes (3 principales et 1 pompe de secours)	Perte d'alimentation électrique par rupture du câble flottant (rupture par contrainte, rupture lors de visite en bateau)	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Perte d'alimentation électrique due à un arrêt de fonctionnement de la salle électrique	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Défaillance d'une ou plusieurs vanne entraînant la perte de contrôle du débit de pompage	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.3.4 Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 134 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Talus et banquettes non noyées par les dépôts	Glissement local de talus	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane à l'air libre	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation de la géomembrane suite à un départ de feu	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vents violents	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane noyée	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Couche de latérite compactée	Défaillance de la barrière d'étanchéité	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par tassement différentiel	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par la présence de doline	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de drainage des eaux de percolation de la verse	Colmatage du système de drainage des eaux d'infiltration	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due au tassement différentiel de la fondation	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due à la présence de dolines	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
Système d'étanchéité (Géomembrane)	Dégradation de la géomembrane	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de collecte des fuites	Perte d'alimentation électrique	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.5 Envol de poussières de résidus pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 135 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Envol de poussières de résidus pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Résidus (comprend la zone de dépôt et zone de décantation)	Vent violent entraînant un envol de poussières	1C	1C	Scénario non retenu pour l'ADR
Verse à Résidus asséchés	Vent violent entraînant un envol de poussières	2C	1C	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.3.6 Débordement du puits de pompage aval pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 136 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Nouveau puits de pompage en aval de la verse (comprend un système de pompage)	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.7 Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 137 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte de capacité de stockage des résidus et des événements pluvieux intenses dans le parc à résidus pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains Nord et Sud (fossés) de dérivation des eaux de ruissellement des versants et bassin Nothofagus	Obstruction partielle ou totale d'un ou des deux drains, et/ou du bassin Nothofagus	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation localisée d'un ou des deux drains, et/ou du bassin Nothofagus	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q10	1D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
Canalisation de transfert des eaux surnageantes le long de l'aire de stockage KO2	Fragilité/vieillessement des lignes	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Séisme	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
Pompes (3 principales et 2 pompes de secours)	Perte d'alimentation électrique par rupture du câble flottant (rupture par contrainte, rupture lors de visite en bateau)	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Perte d'alimentation électrique due à un arrêt de fonctionnement de la salle électrique	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale
	Défaillance d'une ou plusieurs vanne entraînant la perte de contrôle du débit de pompage	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase finale
Verse à Résidus asséchés	Difficulté d'accès à la verse	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR;

8.6.3.8 Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 138 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à 220 m et leurs exutoires	Perte d'intégrité du système d'étanchéité	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.9 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 139 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus en zone étanchéifiée pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des résidus dans l'aire de stockage étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites, leurs appuis, les points de déposition)	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillessement des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Séisme	1E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.10 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 140 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée par géomembrane (comprend les conduites et leurs appuis au sol)	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillessement des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.3.11 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 141 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée	Fragilité/vieillessement des lignes	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR
	Glissement de terrain	3E	3E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.3.12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 142 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2 pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux du puits de pompage aval vers le bassin de stockage KO2	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillessement des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.13 Rupture de la verse pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 143 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture de la verse pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Verse à Résidus asséchés	Défaut de stabilité	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps du barrage et ou/ de la verse et/ou dans les fondations	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Non respect de la cadence de stockage et dégradation des conditions de stabilité de la verse associée à une défaillance des renforts enrochés	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.3.14 Ravinement et rejet des résidus asséchés et des eaux de contact dans l'environnement pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 144 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Ravinement et rejet des résidus asséchés et des eaux de contact dans l'environnement pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Casiers de stockage	Non-respect de la séquence de remplissage des casiers	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Non-respect du sens de poussage et des pente	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Système de drainage des casiers de stockage	Bouchage des buses	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Descentes d'eau	Dysfonctionnement des descentes d'eau	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q 100	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.15 Difficulté d'accès pendant la période sèche pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 145 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période sèche pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Renforts internes non enrochés	Dysfonctionnement des renforts internes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.16 Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse pendant la phase finale-

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 146 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Difficulté d'accès pendant la période pluvieuse pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Renforts internes et externes enrochés	Dysfonctionnement des renforts enrochés	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.17 Dégradation des conditions de stabilité de la verse pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 147 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité de la verse pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Renforts internes et externes enrochés	Dysfonctionnement des renforts enrochés	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"

8.6.3.18 Dégradation des conditions de stabilité des fondations et de la base de la verse pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 148 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité des fondations et de la base de la verse pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Couche de latérite compactée	Défaillance de la barrière d'étanchéité	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par tassement différentiel	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par la présence de doline	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
Système de drainage des eaux de percolation de la verse	Colmatage du système de drainage des eaux d'infiltration	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due au tassement différentiel de la fondation	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due à la présence de dolines	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
Système de drainage des sous écoulements y compris sources WK17 et WK20	Colmatage du système de drainage des sous écoulements	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR/ Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
	Défaillance du système de drainage dû au tassement différentiel de la fondation	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de dolines	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR / Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse pendant la phase finale"

8.6.3.19 "Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation pendant la phase finale"

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 149 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Puisards de stockage des eaux de percolation de la verse y compris système de pompage vers le puits de pompage aval	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1B	1B	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.20 Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 150 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Digue	Dégradation de la stabilité des digues	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps des digues et/ou dans les fondations	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Débordement du bassin entraînant une érosion externe des digues et une instabilité	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.3.21 Débordement incontrôlé des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin central pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 151 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement incontrôlé des eaux de contact par l'évacuateur de crues du bassin central pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Digue	Fortes précipitations	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de pompage des eaux de contact vers le parc à résidus KO2	Perte d'alimentation électrique	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes par foudroiement	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.22 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin central vers le bassin KO2 pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 152 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des eaux de contact du bassin central vers le bassin KO2 pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Canalisation de transfert des eaux du bassin central vers le bassin de stockage KO2	Fuite/rupture d'une canalisation due à fragilité/vieillesse des équipements (vannes, lignes, spigots, ...) ou à une erreur d'opération	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.3.23 Phénomène de Piping dans les bassins pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 153 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Phénomène de Piping dans les bassins pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Système d'étanchéité (Géomembrane)	Dégradation de la géomembrane	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale"
Système de transfert des eaux de contact	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant les digues	2D	2D	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale"

8.6.3.24 Dégradation des conditions de stabilité d'un bassin pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 154 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité d'un bassin pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Système de drainage des sous écoulements	Colmatage et /ou défaillance du système de drainage des sous écoulements	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture d'un bassin des eaux de contact pendant la phase finale"

8.6.3.25 Erosion de la descente d'eau N°09 et de l'appuis sud de la verse pendant la phase finale

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 155 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Erosion de la descente d'eau N°09 et de l'appuis sud de la verse pendant la phase finale »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Dérivation sud permanente	Obstruction partielle ou totale du drain de dérivation sud	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q100	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.4 Analyse préliminaire des risques après la phase de réhabilitation et de fermeture

L'analyse préliminaire des risques pendant la phase de réhabilitation de la fermeture du parc à résidus KO2 et de la verse Lucy a permis d'étudier les scénarios d'accidents encore possibles après la phase de réhabilitation et de fermeture.

Le tableau présentant l'évaluation préliminaire des risques est présenté en Annexe P du présent document.

Il s'agit du tableau réalisé pendant la phase finale mis à jour en tenant compte des travaux prévus pendant la phase de fermeture.

L'analyse des risques a permis de mettre en évidence 8 évènements redoutés, dont 1 retenu en ADR.

L' ERC retenu pour l'ADR est le suivant :

➔ Rupture de la verse après la phase de fermeture.

Les scénarios qui comprennent l'ERC « Rupture de la verse pendant la phase de fermeture » sont détaillés dans l'ADR via les représentations en nœud papillon.

Tableau 156 : Evènements redoutés identifiés pendant la phase de fermeture

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Phénomène de piping (phase de fermeture)	NON	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de risque acceptable ; • Evénement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse pendant la phase de fermeture. 	Tableau 157
Percolation dans le milieu souterrain (phase de fermeture)	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 158

Evènement redouté	Retenu en ADR	Commentaires	Justification
Débordement du puits de pompage aval (phase de fermeture)	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 159
Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de fermeture)	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 160
Rupture de la verse (phase de fermeture)	OUI	Zone de risque inacceptable/intermédiaire.	Tableau 161
Ravinement et rejet des résidus asséchés et des eaux de contact dans l'environnement (phase de fermeture)	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 162
Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse (phase de fermeture)	NON	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de risque acceptable ; • Evénement initiateur directe de l'ERC : Rupture de la verse pendant la phase de fermeture. 	Tableau 163
Débordement des puisards de collecte des eaux d'infiltration (phase de fermeture)	NON	Zone de risque acceptable	Tableau 164

8.6.4.1 Phénomène de piping (phase de fermeture)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 157 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC
«Phénomène de piping (Phase de fermeture)»**

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Barrage avec sa fondation et ses appuis	Dégradation de la géomembrane au niveau du parement amont du barrage	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Rupture d'une ou plusieurs des 4 conduites de sous drainage de la géomembrane et défaut d'étanchéité de la géomembrane en fond de bassin	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Erosion autour de la conduite traversant les fondations des appuis du barrage reliant le drain de sous-banquette 206 (sud) et l'aval du barrage, et défaut d'étanchéité de la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
Système de drainage situé sous la géomembrane (comprend les drains primaires, secondaires et tertiaires ainsi que les 4 conduites traversant le barrage)	Colmatage des drains et/ou des conduites de drainage sous la géomembrane	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant le barrage	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Séisme	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
Ouvrage d'extension des drains de pieds et du système de	Colmatage des conduites traversant la verse	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
sous drainage sous la verse	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant la verse	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "
	Séisme	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "
Extension des drains horizontaux sous la verse	Rupture d'une ou plusieurs conduites traversant la verse	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "
	Séisme	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de doline	2E	2E	Scénario non retenu pour l'ADR /Evénement initiateur directe de l'ERC "Rupture de la verse (phase de fermeture) "

8.6.4.2 Percolation dans le milieu souterrain pendant la phase de fermeture

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 158 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Percolation dans le milieu souterrain (phase de fermeture) »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Talus et banquettes non noyées par les dépôts	Glissement local de talus	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane à l'air libre	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Dégradation de la géomembrane suite à un départ de feu	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Vents violents	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Géomembrane noyée	Contraintes sur la géomembrane	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
		2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc (blocs du ballast sur banquette)	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Dégradation involontaire de la géomembrane	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Chute de bloc, éboulement	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Présence de doline/résurgences	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Couche de latérite compactée	Défaillance de la barrière d'étanchéité	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par tassement différentiel	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par la présence de doline	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
Système de drainage des eaux de percolation de la verse	Colmatage du système de drainage des eaux d'infiltration	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due au tassement différentiel de la fondation	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due à la présence de dolines	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.4.3 Débordement du puits de pompage aval (la phase de fermeture)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 159 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement du puits de pompage aval (phase de fermeture) »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Nouveau puits de pompage en aval de la verse (comprend un système de pompage)	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.4.4 "Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de fermeture) "

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 160 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Perte d'intégrité du système d'étanchéité et rejet par les drains horizontaux de sous-banquette (phase de fermeture) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Drains horizontaux sous les banquettes sud à 206,5 et nord à 220 m et leurs exutoires	Perte d'intégrité du système d'étanchéité	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.4.5 Rupture de la verse (phase de fermeture)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 161 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Rupture de la verse (phase de fermeture) »

Ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Verse à Résidus asséchés	Défaut de stabilité	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Phénomène de piping provoqué par une érosion interne dans le corps du barrage et ou/ de la verse et/ou dans les fondations	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR
	Séisme	4E	4E	Scénario retenu pour l'ADR

8.6.4.6 Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de fermeture)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 162 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Ravinement et rejet des résidus et des eaux de contact dans l'environnement (phase de fermeture) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Descentes d'eau	Dysfonctionnement des descentes d'eau	2E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR
	Crue > à Q 100	2D	1D	Scénario non retenu pour l'ADR

8.6.4.7 Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse (phase de fermeture)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 163 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Dégradation des conditions de stabilité de la fondation et de la base de la verse (phase de fermeture) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Couche de latérite compactée	Défaillance de la barrière d'étanchéité	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par tassement différentiel	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Fissuration de la barrière d'étanchéité par la présence de doline	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
Système de drainage des eaux de percolation de la verse	Colmatage du système de drainage des eaux d'infiltration	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due au tassement différentiel de la fondation	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Défaillance du système de drainage des eaux d'infiltration due à la présence de dolines	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Système de drainage des sous écoulements y compris sources WK17 et WK20	Colmatage du système de drainage des sous écoulements	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Défaillance du système de drainage dû au tassement différentiel de la fondation	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)
	Défaillance du système de drainage dû à la présence de dolines	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR Evénement initiateur directe de l'ERC Rupture de la verse (phase de fermeture)

8.6.4.8 Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation (phase de fermeture)

Le résultat de l'analyse préliminaire est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 164 : Résultat de l'analyse préliminaire des risques des scénarios ayant comme ERC « Débordement des puisards de collecte des eaux de percolation (phase de fermeture) »

Elément de l'ouvrage	Evénement initiateur	Risque "résiduel"		Commentaires/Conclusion
		Zone de risque environnemental	Zone de risque humain	
Puisards de stockage des eaux de percolation de la verse y compris système de pompage vers le puits de pompage aval	Défaillance d'une ou plusieurs pompes	1C	1C	Scénario non retenu pour l'ADR
	Arrêt de fonctionnement de toutes les pompes	1C	1C	Scénario non retenu pour l'ADR
	Foudroiement et arrêt de toutes les pompes	1E	1E	Scénario non retenu pour l'ADR

8.7 Analyse détaillée des risques (ADR) – Développement des nœuds papillons

L'analyse préliminaire des risques a permis d'identifier 18 ERC retenus pour l'ADR.

Il s'agit des ERC suivants :

Tableau 165 : ERC retenus dans l'ADR

Phase de construction	ERC retenu pour l'ADR
Phase des travaux préparatoires	Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires
	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
	Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires
	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires.
Phase de confortement	Rupture du barrage (phase de confortement)
	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)
	Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
	Rupture de la verse (phase de confortement)
	Envol de poussières de résidus (phase de confortement)
	Rupture du bassin des eaux de contact Nord (phase de confortement)

Phase de construction	ERC retenu pour l'ADR
Phase finale	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase finale)
	Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)
	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)
	Rupture de la verse (phase finale)
	Envol de poussières de résidus (phase finale)
	Rupture du bassin des eaux de contact Nord (phase finale)
Phase de fermeture	Rupture de la verse (phase de fermeture)

L'ADR a été réalisée en se basant sur la méthode de Nœud papillon.

Un nœud papillon regroupe sur un même graphique les différents scénarios d'accidents qui comprennent un même ERC.

La représentation des ERC et des différents scénarios est présentée en Annexe Q.

La probabilité d'un ERC provoqué par un ou plusieurs EI spécifique est indiquée directement après chaque EI.

Des portes « **et** » et « **ou** » seront utilisées comme liaison entre différents EI pour créer des combinaisons entre les EI possibles. Les probabilités résultantes de ces combinaisons respecteront les règles suivantes :

- « ou » : Addition des probabilités des EI d'entrée pour obtenir la probabilité de la combinaison en sortie ;
- « et » : Multiplication des probabilités des EI d'entrée pour obtenir la probabilité de la combinaison en sortie.

Les tableaux suivants présentent une simplification du calcul de la probabilité résultante de la combinaison de plusieurs probabilités avec les portes « ou » et « et » :

Tableau 166 : Tableau de simplification pour la porte « et »

ET	A	B	C	D	E
A	B	C	D	E	E
B	C	C	D	E	E
C	D	D	D	E	E
D	E	E	E	E	E
E	E	E	E	E	E

Tableau 167 : Tableau de simplification pour la porte « ou »

OU	A	B	C	D	E
A	A	A	A	A	A
B	A	B	B	B	B
C	A	B	C	C	C
D	A	B	C	D	D
E	A	B	C	D	E

La probabilité « brute » d'un scénario est calculée et est positionnée en amont des barrières de prévention. La probabilité après application des barrières de prévention est positionnée après la colonne de ces barrières.

8.8 Synthèse de l'analyse des risques

Les 18 scénarios d'accident ayant fait l'objet d'une ADR sont présentés dans le tableau ci-dessous, ainsi que leurs zones de risque résiduel humain et environnemental résultantes suite à la réduction des risques par les MMR existantes. Les scénarios sont classés en fonction de leur criticité, le scénario n°1 étant le plus critique.

Tableau 168 : Tableau de synthèse des scénarios de l'ADR

N°	Scénario	Zone de risque env.	Zone de risque humain
1	Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires	5D	4D
2	Rupture du barrage (phase de confortement)	5E	4E

N°	Scénario	Zone de risque env.	Zone de risque humain
3	Débordement incontrôlé de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires	3D	3D
4	Rupture de la verse (phase finale)	4E	4E
5	Rupture de la verse (phase de confortement)	4E	4E
6	Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)	4E	4E
7	Rupture d'un bassin des eaux de contact (phase finale)	4E	4E
8	Rupture de la verse (phase de fermeture)	4E	4E
9	Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires	3E	3E
10	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires	3E	3E
11	Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue du parc à résidu humide (phase de confortement)	3E	3E
12	Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)	3E	3E
13	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)	3E	3E
14	Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue du parc à résidu humide (phase finale)	3E	3E
15	"Fuite voire rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)	3E	3E
16	Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)	3E	3E
17	Envol de poussières de résidus (phase de confortement)	2C	1C

N°	Scénario	Zone de risque env.	Zone de risque humain
18	Envol de poussières de résidus (phase finale)	2C	1C

La représentation de ces scénarios sous forme de nœuds papillon est présentée en Annexe Q.

9 ETUDE DE REDUCTION DES RISQUES

Les 18 scénarios d'accident ayant fait l'objet d'une ADR ainsi que leurs zones de risque résiduel humain et environnemental résultantes suite à la réduction des risques par les MMR existantes, sont présentés sous forme de nœuds papillon en Annexe Q.

9.1.1 Risque humain

Le positionnement des scénarios sur la matrice des risques humains est représenté ci-dessous.

Tableau 169 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques humains

Gravité des conséquences		Probabilité d'occurrence des scénarios provoqué par un EI spécifique				
		E	D	C	B	A
		Extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Désastreuses	5					
Catastrophiques	4	2,4, 5,6,7 et 8	1			
Importantes	3	9,10,11,12,13, 14,15 et 16	3			
Sérieuses	2					
Modérée	1			17 et 18		

Les scénarios 17 et 18 présentent des risques humains classés en zone de risque « verte », c'est-à-dire des risques dit « moindres », il s'agit des scénarios suivants :

- 17 Envol de poussières de résidus (phase de confortement)
- 18 Envol de poussières de résidus (phase finale)

Le risque humain lié à ces scénarios est jugé acceptable et ne nécessite pas des mesures supplémentaires.

Les 15 scénarios suivants présentent des risques humains classés en zone de risque « jaune », c'est-à-dire des risques dit « intermédiaires » :

- 2 Rupture du barrage (phase de confortement)
- 3 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
- 4 Rupture de la verse (phase finale)
- 5 Rupture de la verse (phase de confortement)
- 6 Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)
- 7 Rupture d'un bassin des eaux de contact (phase finale)
- 8 Rupture de la verse (phase de fermeture)

- 9 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires
- 10 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires
- 11 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase de confortement)
- 12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
- 13 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
- 14 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase finale)
- 15 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)
- 16 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)

Le scénario 1 : Rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires présente des risques humains classés en zone de risque « Orange »,

Compte tenu des MMR existantes en termes de mesures techniques et instrumentés (« MMRI ») et de mesures humaines et organisationnelles (« MMRH ») mises en œuvre afin de gérer les risques humains liés à ces scénarios, ces risques sont jugés tolérables.

9.1.2 Risque environnemental

Le positionnement des scénarios sur la matrice des risques environnementaux est représenté ci-dessous.

Tableau 170 : Positionnement des 18 scénarios de l'ADR sur la matrice des risques environnementaux

Gravité des conséquences		Probabilité d'occurrence des scénarios provoqué par un EI spécifique				
		E	D	C	B	A
		Extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Désastreuses	5	2	1			
Catastrophiques	4	4,5,6,7 et 8				
Importantes	3	9,10,11,12,13,14,15 et 16	3			
Sérieuses	2			17,18		
Modérée	1					

16 scénarios présentent des risques environnementaux classés en zone de risque « jaune », c'est-à-dire des risques dit « intermédiaires » :

- 2 Rupture du barrage (phase de confortement)
- 3 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues pendant la phase des travaux préparatoires
- 4 Rupture de la verse (phase finale)
- 5 Rupture de la verse (phase de confortement)
- 6 Rupture du bassin des eaux de contact nord (phase de confortement)
- 7 Rupture d'un bassin des eaux de contact (phase finale)
- 8 Rupture de la verse (phase de fermeture)
- 9 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée pendant la phase des travaux préparatoires
- 10 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée pendant la phase préparatoires
- 11 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crues (phase de confortement)
- 12 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
- 13 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase de confortement)
- 14 Débordement de pulpe de résidus et d'eau surnageante par l'évacuateur de crue (phase finale)
- 15 Fuite voire une rupture partielle ou totale de la canalisation de transfert des résidus hors zone étanchéifiée (phase finale)
- 16 Fuite ou rupture totale d'une canalisation de transfert des eaux surnageantes hors zone étanchéifiée (phase finale)
- 17 Envol de poussières de résidus (phase de confortement)
- 18 Envol de poussières de résidus (phase finale)

Compte tenu des MMR existantes en termes de mesures techniques et instrumentés (« MMRI ») et de mesures humaines et organisationnelles (« MMRH ») mises en œuvre, ces risques sont jugés tolérables.

Le scénario 1, qui présente des risques environnementaux classés en zone rouge, jugés inacceptables, concerne l'accident de rupture du barrage pendant la phase des travaux préparatoires ayant une durée de 2 ans. Une fois le barrage conforté (scénario 2), le risque de rupture du barrage diminue puis s'annule une fois la verse finalisée.