



LIVRET D – GESTION ET PROTECTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES

*Commune de Yaté et du Mont-Dore
Nouvelle-Calédonie*

Volet F – Evaluation des perturbations sur les hydrosystèmes

REDACTION	Vale Nouvelle-Calédonie SAS	Matthieu ROUXEL Jean-Luc FOLIO Christelle RENDU
VERIFICATION	Vale Nouvelle-Calédonie SAS	Tanguy GIBAND
APPROBATION	Vale Nouvelle-Calédonie SAS	David CHIRON Daryush KHOSHNEVISS

SOMMAIRE

6	OBJECTIFS – RAPPEL SUR LA MÉTHODOLOGIE D’ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX UTILISÉE PAR VNC	1
6.1.	PRÉAMBULE	1
6.2.	OBJECTIFS	2
6.3.	RAPPEL SUR LES CRITÈRES D’ÉVALUATION DES PERTURBATIONS	3
6.4.	STRUCTURE DU PRESENT DOCUMENT	4
7	PERTURBATION DES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS	5
7.1.	MÉTHODOLOGIE D’ÉVALUATION DES PERTURBATIONS	5
7.1.1.	Présentation des modèles	6
7.1.1.1.	Modèle MODFLOW	6
7.1.1.2.	Modèles FEFLOW	6
7.1.2.	Aménagements miniers pris en compte	7
7.1.3.	Hypothèses de calcul retenues	8
7.1.4.	Scénario de changement climatique	10
7.2.	IDENTIFICATION DES PERTURBATIONS HYDROGÉOLOGIQUES THÉORIQUES	11
7.2.1.	Présentation des perturbations théoriques	11
7.2.2.	Secteur KO4	12
7.2.3.	Secteur FM25	14
7.3.	EVALUATION DES PERTURBATIONS HYDROGÉOLOGIQUES	15
7.3.1.	Secteur KO4	15
7.3.1.1.	Perturbation KO4-1 : Modification des écoulements souterrains	15
7.3.1.2.	Perturbation KO4-2 : disparition des limites de partage des eaux dans les chaînes rocheux	15
7.3.1.3.	Perturbation KO4-3 : modification des débits de base et d’étiage de la Kwé Ouest et des rivières voisines	16
7.3.1.4.	Perturbation KO4-4 : modification des relations hydrauliques entre la nappe principale et la rivière Kwé Ouest	17
7.3.2.	Secteur FM25	17
7.3.2.1.	Perturbation FM25-1 : modification des écoulements souterrains	18
7.3.2.2.	Perturbations FM25-2 : perturbations sur les lacs et les zones humides	19
7.3.2.3.	Perturbation FM25-3 : déplacement ou disparition des limites de partage des eaux dans les chaînes rocheux	20
7.3.2.4.	Perturbation FM25-4 : modification des débits de base et d’étiage de la Kwé Nord et de la Kwé Est	21
7.3.2.5.	Perturbation FM25-5 : modification du débit de base et d’étiage des rivières au voisinage de la fosse minière	22
7.3.2.6.	Perturbation FM25-6 : Modification des relations hydrauliques entre la nappe principale et les rivières situées dans la zone d’influence de la fosse minière	24
7.4.	SYNTHÈSE DE L’ÉVALUATION DES PERTURBATIONS HYDROGÉOLOGIQUES POTENTIELLES	25
8	PERTURBATION DES ÉCOULEMENTS DE SURFACE	29

8.1. PERTURBATIONS SUR LES REGIMES HYDROLOGIQUES ET LES CRUES.....	29
8.1.1. Facteurs d'influence des écoulements de surface	30
8.1.1.1. Évolution de la superficie des sous-bassins versants de la rivière Kwé	30
8.1.1.2. Évolution des propriétés de ruissellement du bassin de la Kwé	30
8.1.2. Perturbations sur les régimes hydrologiques	33
8.1.2.1. Bilan hydrologique du bassin de la Kwé à l'état initial.....	33
8.1.2.2. Analyse des effets du projet minier sur le régime hydrologique de la Kwé.....	36
8.1.3. Perturbations sur les crues.....	43
8.2. SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION DES PERTURBATIONS HYDROLOGIQUES POTENTIELLES	48

FIGURES

Figure 1 :	Processus d'évaluation des impacts utilisé par Vale Nouvelle-Calédonie	2
Figure 2 :	Secteur Sud de la Nouvelle Calédonie : précipitations probabilistes selon 2 scénarios de changement climatique	10
Figure 3 :	Variation du débit de base de la rivière Kwé Ouest entre une situation avec aménagements et une situation sans aménagements dans le bassin de la Kwé	16
Figure 4 :	Evolution simulée du rabattement des niveaux piézométriques dans l'aquitard latéritique au droit du lac Xéré Wapo	19
Figure 5 :	Evolution simulée du rabattement des niveaux piézométriques dans l'aquitard latéritique au droit du lac Robert.....	20
Figure 6 :	Évolution simulée du débit de base de la rivière Kwé Nord à sa confluence au cours de l'exploitation minière Kwé	21
Figure 7 :	Evolution simulée du débit de base de la rivière Kwé Est à sa confluence au cours de l'exploitation minièreKwé	22
Figure 8 :	Evolution simulée du débit de base de la rivière Wadjana (à la station radier) au cours de l'exploitation minière	23
Figure 9 :	Evolution simulée de la contribution des bassins endoréiques de la Kwé Est amont et de l'Entonnoir au débit de base de la rivière Truu au cours de l'exploitation minière	23
Figure 10 :	Evolution des surfaces anthropisées du bassin de la Kwé	32
Figure 11 :	Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant	33
Figure 12 :	Schéma de fonctionnement des réservoirs en cascade de GARDENIA.....	34
Figure 13 :	Évolution du régime hydrologique de la Kwé Nord	37
Figure 14 :	Évolution du régime hydrologique de la Kwé Ouest.....	38
Figure 15 :	Évolution du régime hydrologique de la Kwé Est	38
Figure 16 :	Évolution du régime hydrologique de la Kwé principale	39
Figure 17 :	Comparaison État final – État initial – Kwé Est	41
Figure 18 :	Comparaison État final – État initial – Kwé Nord.....	42
Figure 19 :	Comparaison État final – État initial – Kwé Ouest.....	42
Figure 20 :	Comparaison État final – État initial – Kwé principale	43

TABLEAUX

Tableau 1 :	Evolution des surfaces contributives à la recharge des eaux souterraines, 2013–2036	9
Tableau 2 :	Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin versant de la Kwé Ouest en situation de basses eaux	17
Tableau 3 :	Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin versant de la Kwé Nord en situation de basses eaux	24
Tableau 4 :	Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin de la Kwé Est en situation de basses eaux	24
Tableau 5 :	Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin versant de la Wadjana en situation de basses eaux	25
Tableau 6 :	Synthèse de l'analyse des perturbations hydrogéologiques et de leurs conséquences hydrologiques	26
Tableau 7 :	Évolution de la superficie des bassins versants du projet minier	30
Tableau 8 :	Bilan hydrologique du bassin de la Kwé (mm).....	35
Tableau 9 :	Estimation des débits de crue du bassin de la Kwé à l'état initial	44
Tableau 10 :	Évolution des débits de crue entre l'état actuel et l'état final	45
Tableau 11 :	Comparaison de l'évolution des pointes de crues avec l'état initial.....	46
Tableau 12 :	Caractérisation de la grandeur de la perturbation	49

6 OBJECTIFS – RAPPEL SUR LA METHODOLOGIE D’EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX UTILISEE PAR VNC

6.1. PREAMBULE

L'étude d'impact présentée dans ce volet F du livret D est spécifique aux eaux continentales (eau souterraine et eau de surface). Au regard du caractère sensible de cette thématique, la conception de l'étude d'impact a été guidée par le souci de proposer aux autorités, aux communautés et d'une manière générale au public, une vision la plus complète possible des perturbations potentiellement engendrées par le projet minier de VNC au cours d'une séquence de 25 années d'exploitation.

C'est pourquoi, il a été fait le choix de cumuler :

- l'impact potentiel des infrastructures relevant strictement du code minier (Infrastructures qui font l'objet de la présente demande d'autorisation) avec celles des aménagements non miniers relevant d'autres réglementations (ICPE, carrière) mais localisés dans l'emprise du projet minier ;
- l'impact des infrastructures déjà autorisées dans l'emprise du projet minier avec celui potentiellement engendré par les projets d'aménagements.

La liste des ouvrages pris en compte dans l'évaluation des impacts sur les eaux continentales est présentée dans le chapitre 7.1.2 de ce volet F.

Par nature, les projets d'aménagements ne sont pas figés et verront nécessairement certaines de leurs caractéristiques évoluer au cours du temps en fonction de différents critères notamment techniques (liés aux retours d'expérience) et socio-économiques. Cela est en particulier le cas pour les aménagements non miniers pris en compte qui pourront potentiellement évoluer de façon significative au fur et à mesure de l'état d'avancement des études de conception.

Pour tenir compte de cette incertitude, l'approche retenue a été de considérer des caractéristiques géométriques plutôt défavorables d'un point de vue hydrologique et hydrogéologique notamment en fin de séquence minière. Cette méthode permet de se projeter sur 25 ans en proposant une approche conservatrice dans l'évaluation des impacts.

Bien évidemment, les projets non miniers définitifs feront ultérieurement l'objet de demandes d'autorisations spécifiques contenant une évaluation détaillée de leurs impacts au titre de la réglementation qui leur est applicable.

L'analyse des effets de ce projet minier sur l'environnement présentée dans ce document porte sur la période 2012-2036 ce qui correspond à une séquence d'exploitation minière de 25 années. Par convention, les références à des numéros d'année (année n°1, 2,...,36) qui apparaissent dans les différents chapitres de ce volet F sont établies en considérant l'année 2012 comme l'année n°1.

6.2. OBJECTIFS

Les effets du projet minier sur l'environnement et la biodiversité sont appréhendés selon le processus présenté à la Figure 1. La méthodologie d'évaluation est basée sur la mise en œuvre d'une analyse multicritères formalisée à base de matrices. Pour plus de détail, le *lecteur est prié de se reporter au volet F du livret C de la Demande d'autorisation d'Exploitation Minière (DAEM)*.

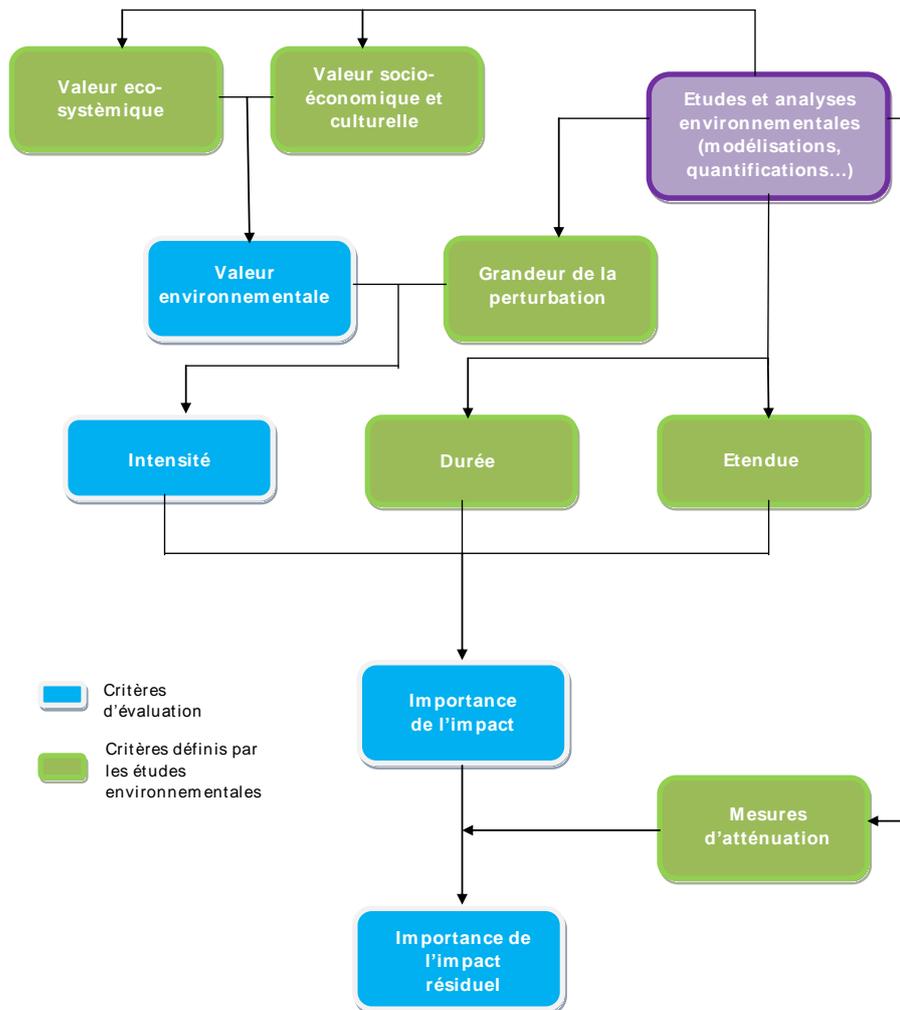


Figure 1 : Processus d'évaluation des impacts utilisé par VNC

Le présent document est consacré à la définition des perturbations pouvant potentiellement toucher le compartiment « Eau Continentale » (eau de surface et eau souterraine) et à l'évaluation des paramètres grandeur, étendue et durée pour chacune de ces perturbations.

La démarche complète d'évaluation de l'impact pour les eaux continentales est présentée au volet C du livret C. Ce volet inclut également l'évaluation des impacts pour les compartiments « milieu physique », « milieu marin » et « milieu humain ».

6.3. RAPPEL SUR LES CRITERES D'EVALUATION DES PERTURBATIONS

Chaque perturbation est évaluée à l'aide des critères suivants :

La **grandeur** de la perturbation peut être :

- forte lorsque la perturbation détruit la composante, met en cause son intégrité ou entraîne un changement majeur de sa répartition générale ou de son utilisation dans le milieu. D'un point de vue quantitatif, une grandeur moyenne correspond à une variation par rapport à l'état initial supérieure à 40% ;
- moyenne lorsque la perturbation modifie la composante touchée sans mettre en cause son intégrité ou son utilisation ou entraîne une modification limitée de sa répartition générale dans le milieu. D'un point de vue quantitatif, une grandeur moyenne correspond à une variation par rapport à l'état initial de [-40% ; +40%] ;
- faible lorsque la perturbation altère faiblement la composante mais ne modifie pas véritablement sa qualité, sa répartition générale ou son utilisation dans le milieu. D'un point de vue quantitatif, une grandeur faible correspond à une variation par rapport à l'état initial de [-20% ; +20%].

Son **étendue** peut être :

- régionale si un effet résiduel sur une composante est ressenti dans une zone géographique importante ou par une grande partie de sa population. Dans le cadre de cette étude, cette zone correspond à l'hydro-écorégion du grand Sud calédonien ;
- locale si un effet résiduel sur une composante est ressenti sur une portion limitée de la zone d'étude ou de sa population. Dans le cadre de cette étude, cette zone correspond à la zone d'influence globale du projet telle que définie au chapitre 5 du volet A du livret C, soit une superficie de 13 410 ha en zone terrestre étendue à une zone maritime d'influence réduite à l'embouchure de la rivière Kwé ;
- ponctuelle si un effet résiduel sur une composante est ressenti dans un espace réduit et circonscrit ou par un faible nombre d'individus. Dans le cadre de cette étude, cette zone correspond à l'emprise des aménagements.

Trois durées ont été considérées relativement à la durée totale du projet. La **durée** de la perturbation peut être :

- longue lorsque l'effet est ressenti de façon continue ou discontinue sur une période égale ou excédant la durée de vie du projet (ici durée supérieure à 30 ans) quelle que soit la rapidité de résilience du milieu affecté à la fin de la perturbation ;
- moyenne lorsque l'effet résiduel est ressenti de façon continue ou discontinue, sur une période inférieure à la durée de vie du projet (ici, durée comprise entre 5 et 30 ans) ;
- courte lorsque l'effet résiduel est ressenti de façon temporaire, d'une manière continue ou discontinue, pendant les phases de construction, d'exploitation ou de démantèlement (ici, durée comprise entre 2 et 5 ans).

6.4. STRUCTURE DU PRESENT DOCUMENT

Afin de simplifier la lecture du présent document, l'analyse des perturbations a été scindée en 2 parties :

- partie 1 : modifications potentiellement apportées au fonctionnement hydrogéologique de la zone d'étude ;
- partie 2 : modifications potentiellement apportées au fonctionnement hydrologique de la zone d'étude.

7

PERTURBATION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS

7.1. METHODOLOGIE D'EVALUATION DES PERTURBATIONS

La grandeur, l'étendue et la durée des perturbations hydrogéologiques ont été évaluées à l'aide d'outils de modélisation représentant le fonctionnement des nappes dans le secteur d'étude. La stratégie retenue a été de faire construire 3 modèles mathématiques par 2 bureaux d'études différents selon une méthode en double aveugle. Sur la base du même jeu de données, chaque bureau d'études a défini, de façon indépendante, un modèle conceptuel de fonctionnement des hydro-systèmes et a construit une représentation mathématique de ce schéma.

Chaque bureau d'études a utilisé un code de calcul différent : FEFLOW et MODFLOW. Ces codes sont les 2 standards mondiaux largement reconnus et utilisés, notamment dans le domaine minier, pour établir des impacts environnementaux à l'échelle régionale.

Au regard de la complexité inhérente à ce contexte hydrogéologique, des simplifications et des hypothèses de travail ont dû être faites. L'approche retenue par chaque bureau d'études a consisté à généralement choisir les conditions les plus contraignantes de façon à obtenir une évaluation conservatrice des impacts. Les résultats présentés dans ce chapitre doivent donc être considérés comme pessimistes.

Le calage des modèles et les simulations ont été réalisés en 2 phases :

- phase 1 : régime permanent (le modélisateur simule un fonctionnement moyen annuel ou pluriannuel) ;
- phase 2 : régime transitoire (le modélisateur tente de reproduire les variations saisonnières observées sur les nappes et les rivières en fonction du temps. A chaque pas de temps de calcul, par exemple mensuel, un état de la nappe est simulé).

Au cours de ces 2 phases, seuls les aspects quantitatifs ont été investigués. L'évaluation des perturbations porte sur :

- l'évolution des niveaux et des directions d'écoulement des eaux souterraines ;
- l'évolution des niveaux d'eau dans les principaux lacs et dolines de la zone d'étude ;
- l'évolution du débit de base et d'étiage de la Kwé et des rivières voisines.

Les impacts potentiels du parc à résidus de la Kué Ouest sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines ont déjà fait l'objet d'une évaluation dédiée qui a été réalisée dans le cadre réglementaire des ICPE.

7.1.1. Présentation des modèles

🗺️ Pièces graphiques – Carte D39 – Présentation des limites des modèles hydrogéologiques

Les différentes phases de construction des modèles et de simulations ont fait l'objet de rapports intermédiaires (Artelia, 2012, 2013a, 2013b; Hydriad, 2012). Les rapports finaux (Artelia, 2014 et Hydriad 2014) présentant l'ensemble de la démarche ainsi que l'ensemble des résultats obtenus sont fournis dans le CD-ROM des études de référence.

Une synthèse des principales caractéristiques des modèles est proposée ci-après. Une comparaison détaillée des modèles est présentée dans un rapport (VNC, 2015) fourni dans le CD-ROM des études de référence. Les limites géographiques des zones modélisées sont présentées à la carte D39.

7.1.1.1. Modèle MODFLOW

Les limites géographiques retenues pour le modèle sont :

- au nord, la bordure sud de la plaine des lacs comprises entre le Grand Lac et la rivière Kué Binyi. Cela inclut le lac en long et le trou du Tahitien ;
- à l'ouest, une partie des bassins de Kaori, Kadji et creek de la baie Nord ;
- au sud, une partie des bassins de Kû Mwa Nirê, de Trou Bleu, de la Kwé principale, le creek de la crête Sud et la rivière Truu ;
- à l'est, une partie de la Kué Binyi, la rivière Wadjana et le trait de côte jusqu'à l'embouchure de la rivière Truu.

Ce secteur de 80,67 km² englobe l'ensemble du bassin de la Kwé, le Trou du Tahitien, le lac en long, le lac Goro Sud, Xere Wapo et Robert. 5 bassins endoréiques sont inclus : creek de la plaine des lacs, bassin amont de la Kwé Est, Entonnoir, Cascade (ancienne mine des japonais) et le bassin endoréique de la Kwé Ouest.

Le modèle est constitué de 3 couches, représentant de haut en bas, l'unité hydrogéologique des latérites (la transition incluse), la nappe des saprolites et le bedrock fissuré/altéré.

L'ensemble des limites et des rivières prises en compte correspond à des conditions aux limites de type drain ou de type étanche. Les axes de drainage des systèmes pseudo-karstiques présents sur la zone modélisée sont représentés à l'aide d'une condition aux limites spéciale. Le calage du modèle est réalisé à l'aide d'une approche semi-automatisée basée sur la mise en œuvre du logiciel PEST.

7.1.1.2. Modèles FEFLOW

La zone d'étude a été découpée en 2 modèles : le modèle KO4 et le modèle FM25. Les limites géographiques retenues pour le modèle FM25 sont :

- au nord, une partie de la plaine des lacs comprises entre l'endoréique du creek de la plaine des Lacs et la rivière Kué Binyi. Cela inclut le lac en long ;
- à l'ouest, la limite naturelle de partage des eaux souterraines entre les rivières KO5 et KN1 (secteur SMLT), la rivière Kwé Nord jusqu'à sa confluence avec la KN1 ;
- au sud, le creek de la crête Sud et la ligne de crête marquant la limite géographique du bassin Cascade ;

- à l'est, une partie de la Kué Binyi et de la rivière Wadjana.

La zone modélisée fait 28 km² et englobe l'ensemble du bassin de la Kwé Nord et de la Kwé Est, le Trou et les lacs Goro Sud, Xere Wapo et Robert. 3 bassins endoréiques sont inclus : creek de la plaine des lacs, bassin amont de la Kwé Est et Entonnoir.

Pour le modèle KO4, les limites retenues sont :

- au nord, la bordure sud de la plaine des lacs comprise entre le Grand Lac et l'ancienne piste d'aérodrome ;
- à l'ouest, la partie amont des bassins de Kaori, Kadji et creek de la baie Nord ;
- au sud, la partie amont des bassins de Kû Mwa Nirê, de Trou Bleu et de la Kwé principale ;
- à l'est, la rivière Kwé et la rivière KN1.

La zone modélisée fait 34 km². Elle englobe l'ensemble du bassin de la Kwé Ouest et une partie du bassin de la KN1. 2 bassins endoréiques sont tout ou partie inclus : le bassin du creek de la plaine des lacs et le bassin endoréique de la Kwé Ouest.

Les 2 modèles (KO4 et FM25) comprennent 4 couches représentant de haut en bas l'unité hydrogéologique des latérites, la nappe des saprolites, le bedrock fissuré/altéré et le bedrock sain. En matière de géométrie, la principale différence avec le modèle Modflow est que la couche de transition est ici affectée à l'aquifère principal.

L'ensemble des limites et des rivières prises en compte correspond à des conditions aux limites de type drain ou de type étanche. Les axes de drainage des systèmes pseudo-karstiques présents sur la zone modélisée sont représentés à l'aide d'une condition aux limites spéciale.

7.1.2. Aménagements pris en compte

Les aménagements miniers pris en compte sont les suivants (Carte D39) :

- parc à résidus de la Kué Ouest ;
- projet de carrière de péridotite de la VSKE (CPVSKE) ;
- projet de verse à stériles SMLT ;
- verse à stériles VSKE ;
- fosse minière du plateau de Goro ;
- projet de carrière de péridotite CPA1 (carrière dénommée CP-A1) ;
- projet de verse à stériles V6.

En complément, le bassin de KO4 a fait l'objet d'un traitement particulier. Au cours des 25 prochaines années, ce secteur pourrait être potentiellement concerné par le développement de projets d'aménagements.

Sans préjuger de leur nature effective, il a été décidé de considérer que ces aménagements pourraient potentiellement couper totalement la recharge des nappes d'eau souterraine en fond de vallée. Autrement dit, il a été considéré que les pluies futures qui allaient tomber au droit du bassin ne pourraient plus s'infiltrer, tout ou partie, et iraient alimenter le ruissellement. La superficie

concernée fait 360 ha ce qui représente 20% du bassin versant de la Kwé Ouest ou encore 12% du bassin versant de la Kwé principale.

Cette hypothèse de travail conduit à une évaluation conservatrice des impacts hydrogéologiques potentiels dans le bassin de la Kwé Ouest, ce qui est conforme à l'esprit de la nouvelle réglementation minière et environnementale. Afin de simplifier l'évaluation des impacts, seule l'emprise de la fosse minière évolue en fonction du temps. Son creusement est représenté :

- en 6 étapes dans le modèle FM25 : Années 1 à 5, années 6 à 7, années 8 à 9, années 10 à 14, années 15 à 19, et années 20 à 25.
- en 5 étapes dans le modèle MODFLOW : années 1 à 6, années 7 à 9, années 10 à 14, années 15 à 19 et années 20 à 25

Pour les autres aménagements (Imperméabilisation du bassin KO4 y compris), il est considéré que leur stade maximal de développement (qui correspond à un impact potentiel maximum) est atteint dès la première année de simulation (année 1).

7.1.3. Hypothèses de calcul retenues

Les hypothèses de calcul suivantes ont été retenues :

- la fosse minière est supposée parfaitement drainante (la fosse draine librement les eaux souterraines lorsque le niveau d'eau souterraine recoupe la surface topographique de creusement) et imperméable à la recharge par les pluies (au droit de la fosse, la pluie ne peut pas alimenter les eaux souterraines) ;
- en fin d'exploitation, la fosse est laissée en l'état (drainage permanent des eaux souterraines et pas de recharge des nappes). Aucun scénario de remblaiement de la fosse n'est considéré ;
- les carrières, les verses à stériles, le parc à résidus de la Kué Ouest et le bassin KO4 sont considérés comme des zones imperméabilisées sur lesquelles la recharge des eaux souterraines par les pluies est nulle.

Les recharges utilisées dans les différents modèles sont les suivantes :

- modèle KO4 : 40% de la Pluie efficace (Pe_{eff}) dans les zones plates, 35% Pe_{eff} dans les crêtes, 30% Pe_{eff} dans les versants de vallée et 100% Pe_{eff} dans les bassins endoréiques ;
- modèle FM25 : 24% de la pluie totale (soit environ 36% de la pluie efficace) ;
- modèle MODFLOW : 100% Pe_{eff}.

Cette diversité des valeurs de recharge reflète l'évolution des connaissances au cours du processus de modélisation qui s'est étalé entre 2011 et 2014. Le modèle FM25 qui a été le premier à être finalisé a utilisé les deux seules études disponibles à l'époque en matière de recharge (Golder, 2002 et Golder 2008). Le modèle KO4 et le modèle Modflow ont bénéficié d'une étude de la recharge plus récente (A2EP, 2012d) basée sur la réalisation de bilans d'eau établis sur différents bassins versants grâce aux données débitmétriques disponibles et à la mise en œuvre d'un modèle pluie-débit

Pour le modèle KO4, une analyse de sensibilité a été conduite pour la recharge. Deux cas ont été examinés durant la phase de calage et ce en fonction du comportement envisagé pour les chaînons rocheux :

- hypothèse 1 : les chaînons rocheux sont des zones privilégiées d'infiltration. La recharge au droit des chaînons rocheux pourrait correspondre à 65 % de la pluie efficace ;
- hypothèse 2 : les chaînons sont des zones d'infiltration standard. La recharge correspond à 35 % de la pluie efficace.

L'hypothèse de recharge n°2 a été retenue pour l'évaluation des impacts présentée dans ce document. Il s'agit du scénario le plus défavorable en matière d'alimentation des eaux souterraines et par conséquent celui qui engendrera l'impact le plus fort sur le fonctionnement des rivières, les surfaces imperméabilisées par les aménagements miniers étant pour l'essentiel situées dans les zones plates (plateau et bassins) (Tableau 1). En 2013, les chaînons rocheux représentaient 30 % des superficies non imperméabilisées. Ce ratio passe à plus de 40 % en 2036. La contribution des chaînons en matière d'alimentation des eaux souterraines va donc devenir de plus en plus importante au fur et à mesure du développement des aménagements miniers.

Tableau 1 : Evolution des surfaces contributives à la recharge des eaux souterraines, 2013–2036

Superficie exprimée en %	Situation 2013	Situation 2036
chaînon rocheux non imperméabilisé	26	24
chaînon rocheux imperméabilisé	2	4
plateau non imperméabilisé	61	32
plateau imperméabilisé	11	40

Pour MODFLOW, le modélisateur a pris le parti de laisser le modèle définir la recharge et les paramètres hydrodynamiques nécessaires pour honorer les observations piézométriques. L'excédent de pluie est automatiquement éliminé par le modèle au travers d'une condition aux limites de drainage appliquée en surface du modèle. Cette décision a été guidée par les observations piézométriques qui montrent que l'aquitard latéritique se recharge plus vite qu'il ne se vidange et qu'il finit par déborder en cas de pluies répétées.

Cette méthodologie présente l'avantage de permettre de mettre en œuvre un vrai processus de validation du modèle MODFLOW à l'aide des données débitométriques disponibles pour différentes rivières et creeks. Cela n'est pas possible notamment pour le modèle KO4 puisque ce dernier utilise une valeur de recharge issue du calage d'un modèle hydrologique à l'aide des données débitométriques disponibles.

Du fait de cette conceptualisation particulière de la recharge, les impacts simulés par le modèle MODFLOW peuvent être considérés comme moins conservateurs que ceux évalués par les 2 modèles FEFLOW. En effet, les différents aménagements miniers vont induire une baisse des niveaux piézométriques soit par effet de drainage soit par imperméabilisation de larges secteurs. Cette baisse va entraîner une diminution du nombre de jours où l'aquitard latéritique est en phase de débordement. Mécaniquement, cela aboutit à une augmentation de la recharge que va laisser entrer le modèle MODFLOW dans l'aquitard.

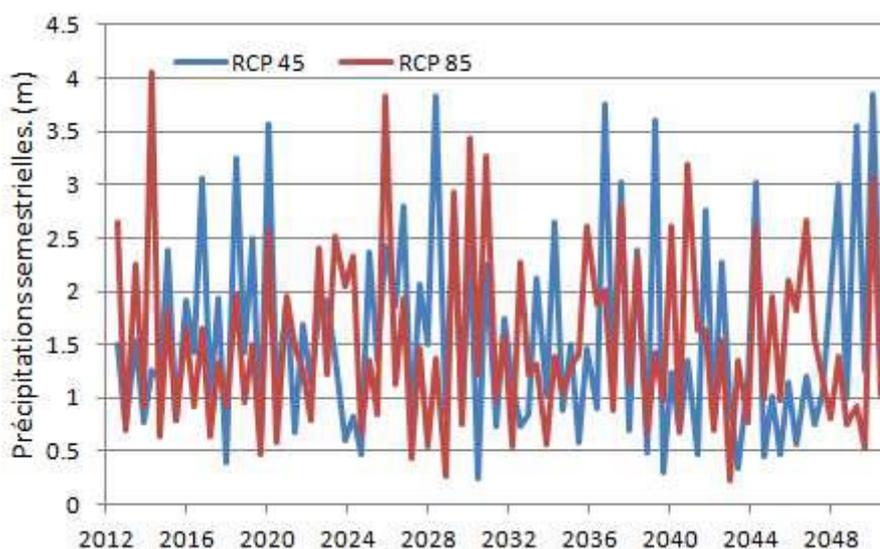
7.1.4. Scénario de changement climatique

☞ Se référer au document - Note descriptive des fichiers d'informations issues de modèles de scénarios (Météo France, 2013)

Des phénomènes de changement climatique ont été pris en compte dans les simulations d'impact hydrogéologique sur la période 2014-2050. Météo France a été en mesure de fournir des précipitations semestrielles probabilistes simulées avec le modèle IPSL-CM5A-LR de l'Institut Pierre-Simon Laplace dans le cadre du projet CMIP5 (5ème rapport du GIEC). Ce modèle a été sélectionné pour sa représentation raisonnable des phénomènes influençant le climat de la Nouvelle-Calédonie, à savoir la Zone de Convergence du Pacifique Sud (ZCPS) et El Niño Oscillation Australe (ENSO).

La résolution de ce modèle est de 400 km environ. Les simulations ont été ajustées selon une méthode de descente d'échelle pour la Nouvelle-Calédonie (Cavarero, et *al.*, 2012) en prenant comme référence la série de précipitations de la station de Yaté Usine entre 1960 et 2008. Les 2 scénarii proposés sont les suivants (Figure 2) :

- le scénario le plus pessimiste RCP 85 qui combine une forte croissance démographique, une relativement faible croissance des revenus moyens, avec peu d'évolution technologique, conduisant à long terme à une forte demande énergétique, et à de fortes émissions de gaz à effet de serre en l'absence de politique de lutte contre le réchauffement climatique.
- un scénario plus optimiste RCP 45, faisant l'hypothèse d'émissions de gaz à effet de serre continuant à croître jusqu'en 2050, puis diminuant ensuite.



Source : Météo France, 2012

Figure 2 : Secteur Sud de la Nouvelle Calédonie : précipitations probabilistes selon 2 scénarios de changement climatique

Dans les 2 cas, les pluies annuelles des 50 prochaines années ne devraient pas évoluer en cumul par rapport aux précipitations du passé. En revanche, la distribution intra annuelle devrait être modifiée avec des pluies plus intenses en période humide et plus rares en période sèche.

Du point de vue de l'alimentation des nappes d'eau souterraine, les périodes de fortes pluies sont moins efficaces que les périodes de pluies moyennes, du fait notamment de ruissellements plus

importants. Une baisse de la recharge est par conséquent potentiellement attendue par rapport à la période actuelle.

Pour le calcul des pluies efficaces, il a été fait l'hypothèse que l'évapo-transpiration (ETP) n'allait pas évoluer par rapport à la situation actuelle.

7.2. IDENTIFICATION DES PERTURBATIONS HYDROGEOLOGIQUES THEORIQUES

Une liste de perturbations est proposée sans considération sur leur probabilité d'apparition et l'intensité de leur effet. L'objectif est simplement de répertorier l'ensemble des changements hydrogéologiques (et leurs répercussions sur les rivières, les lacs et les zones humides) qui pourraient en théorie se mettre en place suite à la construction des différents aménagements miniers. L'évaluation de la grandeur, de l'étendue et de la durée de chaque perturbation est réalisée dans un second temps au paragraphe 7.3.

Cette phase d'identification est présentée selon la logique géographique qui a prévalu lors de la construction des modèles FEFLOW. Deux secteurs sont donc considérés : le secteur KO4 et le secteur FM25.

Le secteur KO4 comprend toute la bordure méridionale de la plaine des lacs comprise entre le Grand Lac et le bassin du creek de la plaine des lacs, le bassin de la Kwé Ouest, les rivières Kaori et Kadji ainsi que le secteur de Port Boisé situé en rive gauche de la Kwé principale (Trou Bleu et Kû Mwa Nirê).

Le secteur FM25 comprend la partie Sud Est de la plaine des Lacs, les bassins de la Kwé Nord et de la Kwé Est, la Kué Binyi, la Wadjana ainsi que l'ensemble des rivières et des bassins endoréiques situés au sud et au sud-est de la future fosse minière (creek de la crête Sud, Entonnoir, bassin de l'ancienne mine des Japonais et rivière Truu).

7.2.1. Présentation des perturbations théoriques

 Se référer aux cartes D40 et D41

D'un point de vue hydrogéologique, la création d'une fosse minière ou d'une carrière va avoir le même effet qu'un pompage permanent sur les écoulements souterrains (effet de drainage des nappes). Le drainage des nappes par la fosse va engendrer un rabattement des niveaux piézométriques (à la fois dans l'aquitard latéritique et l'aquifère saprolitique) et une modification des gradients hydrauliques qui va se propager radialement par rapport à l'aménagement au cours du temps. Ce drainage peut potentiellement avoir des conséquences permanentes ou saisonnières sur les lacs et les rivières situés dans la zone d'influence de la fosse minière. Plus la fosse ou la carrière sera profonde et étendue, plus les perturbations hydrogéologiques et hydrologiques pourront être importantes.

Les perturbations théoriques d'une fosse minière sont les suivantes (Cartes D40 et D41) :

- **perturbation théorique n° 1** : modification des écoulements souterrains (diminution des niveaux piézométriques, modification des directions d'écoulement et des gradients hydrauliques) ;

- **perturbation théorique n° 2** : modification de la relation hydraulique entre les nappes (notamment l'aquitard latéritique) et les lacs et zones humides pouvant entraîner une baisse des plans d'eau, voire un assèchement saisonnier ou permanent pour les cas les plus aigus ;
- **perturbation théorique n° 3** : déplacement, voire disparition des limites naturelles de partage des eaux souterraines. Un simple déplacement peut entraîner le déclenchement des perturbations de type 4. La disparition de limites naturelles de partage des eaux dans les chaînons rocheux crée des connexions saisonnières ou permanentes entre des bassins versants qui étaient auparavant indépendants. Ces connexions peuvent profondément modifier le fonctionnement hydrogéologique et hydrologique des bassins versant concernés ;
- **perturbations théoriques n° 4** : modification de la contribution totale des écoulements souterrains au débit des rivières (modification du débit de base et d'étiage des rivières mesuré à l'exutoire des bassins versants) lorsqu'il y a eu déplacement des limites naturelles de partage des eaux. Ce débit peut augmenter ou diminuer selon les cas ;
- **perturbation théorique n° 5** : modification des relations hydrauliques entre les nappes d'eau souterraine et certains tronçons de rivière. Le rabattement des niveaux d'eau souterraine peut engendrer une déconnexion entre les nappes et les rivières notamment sur les portions situés les plus en amont. Sur ces tronçons, l'écoulement en rivière devient intermittent et il peut y avoir disparition saisonnière ou permanente des sources localisées généralement en pied de plateau. Pour les cas les plus aigus, il peut y avoir apparition de situation d'assec sur l'ensemble du cours d'eau ;
- **perturbation théorique n° 6** : modification des échanges d'eau souterraine entre bassins versants via une connexion le long d'une faille ou d'un système pseudo-karstique. Cette perturbation est induite par les modifications de niveaux d'eau souterraine (et par conséquent de gradients hydrauliques) de part et d'autre des bassins au droit de la zone de connexion.

Une diminution plus ou moins marquée de la recharge des nappes est attendue dans l'emprise des aménagements miniers de type parc à résidus ou verse à stériles. Les perturbations hydrogéologiques engendrées par cette diminution ainsi que ses conséquences sur les lacs et les rivières sont similaires à celles engendrées par une fosse minière ou une carrière. Plus ces aménagements miniers seront étendus et plus les perturbations induites pourront être importantes.

7.2.2. Secteur KO4

L'augmentation des surfaces anthropisées (surfaces considérées comme imperméabilisées) dans le bassin de la Kwé Ouest (Tableau 1) va engendrer une diminution significative de la recharge des eaux souterraines dans le secteur. La conséquence directe est une baisse plus ou moins marquée des niveaux piézométriques et une modification des gradients hydrauliques qui va se propager au cours du temps de façon radiale par rapport aux surfaces imperméabilisées. Sur cette base, les perturbations théoriques seraient les suivantes :

- **perturbation KO4-1** : modification des écoulements souterrains (diminution des niveaux piézométriques, modification des directions d'écoulement et des gradients hydrauliques) ;
- **perturbation KO4-2** : baisse des dômes piézométriques présents dans les chaînons rocheux notamment au droit ou à proximité de la carrière CP-A1. Si cette baisse est

importante, les crêtes incriminées pourraient ne plus jouer leur rôle de limite de partage des eaux et une connexion hydraulique généralisée ou locale, pérenne ou saisonnière pourrait se mettre en place entre la plaine des lacs et le bassin de la Kwé Ouest, Kaori et la Kwé Ouest, ou encore Kadji et la Kwé Ouest ;

- **perturbation KO4-3** : modification du débit de base et d'étiage de la Kwé Ouest et des rivières situées dans le voisinage si les modifications apportées aux écoulements souterrains se propagent au-delà du bassin de la Kwé. Cela peut concerner les rivières Kaori, Kadji Trou Bleu et Kû Mwa Nirê ;
- **perturbation KO4-4** : modification des relations hydrauliques entre les nappes et la Kwé Ouest notamment sur les tronçons amont de la rivière et de ses affluents.

7.2.3. Secteur FM25

Pour le secteur FM25, les perturbations théoriques sont les suivantes :

- **perturbation FM25-1** : modifications des écoulements souterrains (diminution des niveaux piézométriques, modification des directions d'écoulement et des gradients hydrauliques) ;
- **perturbation FM25-2** : disparition partielle ou totale des lacs et des zones humides dans les secteurs où un fort rabattement des nappes d'eau souterraine s'est mis en place. Cela concerne les lacs Robert et Xere Wapo à l'est de la fosse minière mais également les lacs et les zones humides situés dans la plaine des lacs au nord du Trou du Tahitien ;
- **perturbation FM25-3** : baisse des dômes piézométriques présents dans les chaînons rocheux. Si cette baisse est importante, les crêtes pourraient ne plus jouer leur rôle de limite de partage des eaux. Dans ce cas, une connexion hydraulique généralisée ou locale, pérenne ou saisonnière pourra se mettre en place entre la Kwé Est, le creek de la crête Sud, l'Entonnoir, le bassin endoréique de la mine des japonais et la Truu ;
- **perturbation FM25-4** : modification du débit de base et d'étiage de la Kwé Nord et de la Kwé Est ;
- **perturbation FM25-5** : modification du débit de base et d'étiage de l'ensemble des rivières situées au voisinage de la fosse minière si les modifications apportées aux écoulements souterrains se propagent au-delà du bassin de la Kwé. Cela comprend la Kué Binyi, la Wadjana, l'Entonnoir, le creek de la mine des japonais, le creek de la crête Sud et la rivière Truu ;
- **perturbation FM25-6** : modification des relations hydrauliques entre les nappes, la Kwé Nord, la Kwé Est ainsi que les rivières extérieures au bassin de la Kwé situées au voisinage de la fosse minière.

7.3. EVALUATION DES PERTURBATIONS HYDROGEOLOGIQUES

7.3.1. Secteur KO4

7.3.1.1. Perturbation KO4-1 : Modification des écoulements souterrains

 Pièces graphiques – Cartes D42 et D43

Des cartes de rabattements piézométriques maximum après mise en place des aménagements miniers sont présentées aux cartes D42 et D43, respectivement pour l'aquitard latéritique et pour l'aquifère principal.

Les résultats obtenus par simulation sont les suivants :

- au niveau de KO4 et de SMLT, la baisse des niveaux piézométriques est importante. Pour l'aquitard elle est de l'ordre de 10 à 25 mètres. Les rabattements dans l'aquifère principal sont un peu plus faibles en particulier dans le secteur de KO4 (baisse de l'ordre de 5 à 10 mètres)
- au droit de la berme du parc à résidus de la Kué Ouest, les rabattements dans l'aquitard et l'aquifère principal sont en moyenne de l'ordre de 1 à 4 mètres respectivement pour le modèle MODFLOW et le modèle KO4 Kwé
- malgré ces rabattements, les directions d'écoulement dans le bassin de la Kwé Ouest restent inchangées par rapport à la situation naturelle.

Sur la base de ces résultats, la perturbation KO4-1 est considérée comme :

- faible, d'extension locale et de longue durée pour le bassin de la Kwé Ouest ;
- non significative pour les autres bassins (Kaori, Kadji, Trou Bleu et Kû Mwa Nirê).

7.3.1.2. Perturbation KO4-2 : disparition des limites de partage des eaux dans les chaînons rocheux

 Pièces graphiques – Carte D42 et D43

Les simulations réalisées tendent à montrer que les dômes piézométriques restent présents dans les chaînons rocheux et continuent de jouer leur rôle de limite de partage des eaux souterraines, notamment en situation de basses eaux (Cartes D42 à D43). Sur cette base, aucune perturbation hydrogéologique majeure n'est attendue notamment sur les bassins de Kaori de Kadji et de la plaine des lacs

La perturbation KO4-2 est considérée comme non significative.

7.3.1.3. Perturbation KO4-3 : modification des débits de base et d'étiage de la Kwé Ouest et des rivières voisines

Les résultats obtenus sont les suivants :

- l'imperméabilisation d'une grande partie du bassin entraîne une diminution significative du débit de base et d'étiage de la Kwé Ouest. Cette baisse serait en moyenne de l'ordre de 20% à 50% selon le modèle considéré (Figure 3) ;
- le débit de base et d'étiage des rivières Kaori, Kadji, Kû Mwa Nirê et Trou Bleu n'est pas impacté ;
- pour la rivière Trou Bleu des études complémentaires devront être réalisées afin de mieux comprendre son degré de continuité hydraulique avec le bassin de la KO4. Néanmoins l'éventuelle contribution de KO4 au débit de la rivière est intrinsèquement faible notamment par rapport à la recharge directe apportée par les pluies sur l'emprise du bassin de Trou Bleu. Cette conclusion s'appuie sur l'analyse des relations entre la nappe principale et la rivière Kwé Ouest (connaissance issue de l'analyse de 9 campagnes de jaugeages différentiels), le bilan hydrologique de la Kwé Ouest et sur le fait que le débit spécifique d'étiage de la Trou Bleu n'apparaît pas anormalement élevé.

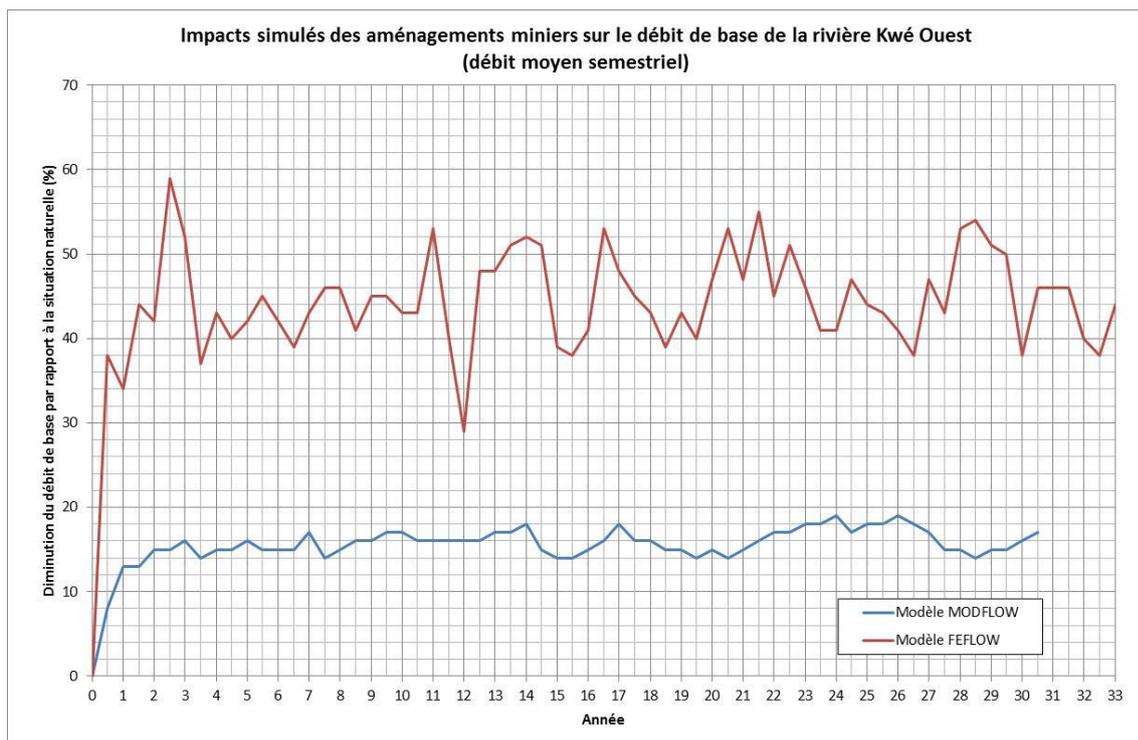


Figure 3 : Variation du débit de base de la rivière Kwé Ouest entre une situation avec aménagements et une situation sans aménagements dans le bassin de la Kwé

L'évaluation de l'effet de la perturbation KO4-3 sur le régime hydrologique de la Kwé Ouest est présentée au paragraphe 8.1.2. Cette perturbation est considérée comme non significative pour les rivières Kaori, Kadji, Kû Mwa Nirê et Trou Bleu.

7.3.1.4. Perturbation KO4-4 : modification des relations hydrauliques entre la nappe principale et la rivière Kwé Ouest

 Pièces graphiques – Carte D44

La baisse des niveaux d'eau souterraine sur une large partie du bassin devrait engendrer une déconnexion pérenne ou saisonnière entre la nappe principale et les tronçons amont de la rivière Kwé Ouest. Dès 2020, les perturbations suivantes sont attendues en situation de basses eaux (Carte D44 et Tableau 2) :

- forte probabilité d'apparition de situations d'assec sur le tiers amont de la Kwé Ouest ;
- forte probabilité d'apparition de situations d'assec sur l'ensemble de la rivière KO5, les 200 derniers mètres exceptés (zone d'arrivée de sources).

Tableau 2 : Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin versant de la Kwé Ouest en situation de basses eaux

	Kwé Ouest sans KO5		KO5		Kwé Ouest totale	
	Situation naturelle	Situation dès 2020	Situation naturelle	Situation dès 2020	Situation naturelle	Situation dès 2020
Tronçon naturellement assec ou avec forte probabilité d'apparition d'assec	0%	38%	12%	94%	5%	62%
Tronçon avec écoulement permanent	100%	62%	88%	6%	95%	38%

Le risque d'assèchement de ces tronçons de rivière diminue très fortement en situation de moyennes et de hautes eaux.

Ces perturbations pourront avoir des effets plus ou moins marqués sur le fonctionnement écologique de la rivière Kwé Ouest. Ce point fait l'objet d'une étude qui est présentée dans le CD-ROM des études de référence (Rapport A2EP ROCHE ERBIO SORECO 2015 – Etude d'impact de la réduction des débits sur la flore et la faune aquatique, janvier 2015, 294p).

Pour les rivières Kaori, Kadji, Kû Mwa Nirê et Trou Bleu, cette perturbation est jugée non significative.

7.3.2. Secteur FM25

Les perturbations présentées sont celles générées par une fosse minière dont l'emprise maximale correspond à 25 ans d'exploitation. Néanmoins, spécifiquement pour le secteur de la plaine des lacs, les impacts présentés sont ceux induits par la fosse après 18 ans d'exploitation et ce en raison des limitations touchant les performances des modèles mathématiques à leur stade de développement actuel.

En effet, entre l'année 19 et 25, il est prévu que la fosse s'étende jusqu'au Trou du Tahitien ce qui pourra potentiellement engendrer des modifications sur les écoulements souterrains de la plaine des lacs. Or, la précision des modèles est jugée faible au nord du Trou du Tahitien du fait de l'absence de données de calage et de validation spécifiques à la plaine des lacs.

Des études complémentaires (et notamment la construction de plateformes piézométriques dans le secteur Est et Sud Est de la plaine des lacs) seront réalisées dans les années à venir afin d'évaluer précisément les perturbations hydrogéologiques engendrées par cette extension de la fosse.

En revanche, la précision des modèles mathématiques disponibles actuellement est suffisante pour évaluer les impacts de la fosse à 18 ans.

7.3.2.1. Perturbation FM25-1 : modification des écoulements souterrains

 Pièces graphiques – Carte D42 à D43 et Carte D45

Des cartes de rabattements piézométriques maximum après mise en place des aménagements miniers sont présentées aux figures 4 et 5, respectivement pour l'aquitard latéritique et pour l'aquifère. La carte D45 permet de localiser les points de référence piézométriques pour lesquels un graphique de l'évolution des niveaux simulés est proposé.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- au nord, les rabattements supérieurs à 1 m restent cantonnés à une bande d'environ 900 m de large comprise entre le nord de la fosse à 18 ans et le Trou du Tahitien ;
- au niveau de la plaine des lacs, l'effet de drainage induit par la fosse minière s'atténue très rapidement avec des rabattements qui deviennent non significatifs (de l'ordre de 10 centimètres) dans un rayon de 500 m au nord du Trou du Tahitien. La zone RAMSAR n'est pas affectée par ces changements ;
- à l'est, la partie amont du bassin de la Wadjana est concernée par une baisse des niveaux d'eau souterraine de l'ordre de 1 m ;
- au sud, les rabattements au droit du projet de carrière CPVSKE sont importants (plus de 25 m) mais restent très localisés ;
- les directions d'écoulement sont globalement faiblement impactées sauf au niveau de la Kwé Est. Les axes de drainage restent inchangés ainsi que la limite de partage des eaux entre la Kwé Nord et la Kué Binyi ;
- dans le secteur de la Kwé Est, le drainage des eaux souterraines par la fosse minière est très marqué. Cela se traduit par la disparition de la limite naturelle de partage des eaux souterraines entre la Kwé Nord et la Kwé Est et par une diminution significative des écoulements vers la Kwé Est ;
- la limite de partage des eaux souterraines entre la Kwé Nord et la Wadjana est légèrement décalée vers l'est.

Sur la base de ces résultats, la perturbation FM25-1 est considérée comme :

- moyenne, d'extension locale et de longue durée pour la Kwé Nord et la Kwé Est ;
- faible, d'extension locale et de longue durée pour la plaine des lacs et la Wadjana ;
- non significative pour les autres rivières.

7.3.2.2. Perturbations FM25-2 : perturbations sur les lacs et les zones humides

Pour le plateau de Goro, les rabattements de niveau d'eau dans l'aquitard et l'aquifère vont être très importants (plus de 20 m dans certains secteurs). Ce résultat suggère que les lacs et zones humides situés à proximité de la fosse minière pourront connaître des épisodes de déconnexion hydraulique avec l'aquitard latéritique. En fonction de la part d'eau souterraine participant à l'alimentation de ces lacs et zones humides, des phénomènes d'assèchements permanents ou saisonniers pourront être observés.

Pour la partie est du plateau de Goro, cela concerne tout particulièrement le lac Xere Wapo (Figure 4) et le lac Robert (Figure 5). Pour le Xere Wapo, l'intensité du rabattement des niveaux piézométriques au droit du lac est variable selon le modèle considéré. Néanmoins, les 2 modèles montrent sans ambiguïté que des épisodes d'assèchement saisonniers voire permanents devraient se mettre en place dès la 9^{ième} année d'exploitation de la fosse minière.

Pour le lac Robert, les résultats obtenus par simulation sont ambigus. Le modèle FM25 indique que des épisodes d'assèchement saisonniers voire permanents devraient se mettre en place dès la 12^{ième} année d'exploitation de la fosse minière. Le modèle MODFLOW suggère que ce lac devrait rester hors zone d'influence de la fosse minière. Il s'agit d'une zone au fonctionnement hydrogéologique complexe et où une incertitude importante était attendue en phase de modélisation. Au final, le rabattement le plus marqué (modèle FM25) est retenu dans le cadre de cette évaluation d'impact.

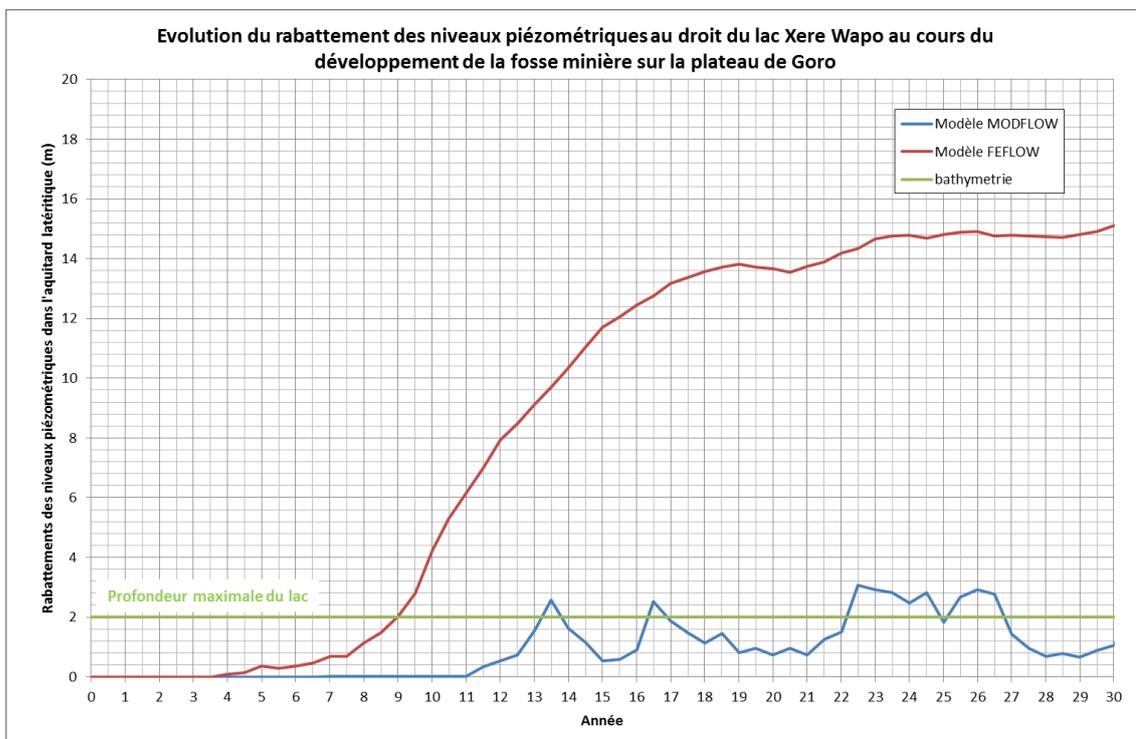


Figure 4 : Evolution simulée du rabattement des niveaux piézométriques dans l'aquitard latéritique au droit du lac Xéré Wapo

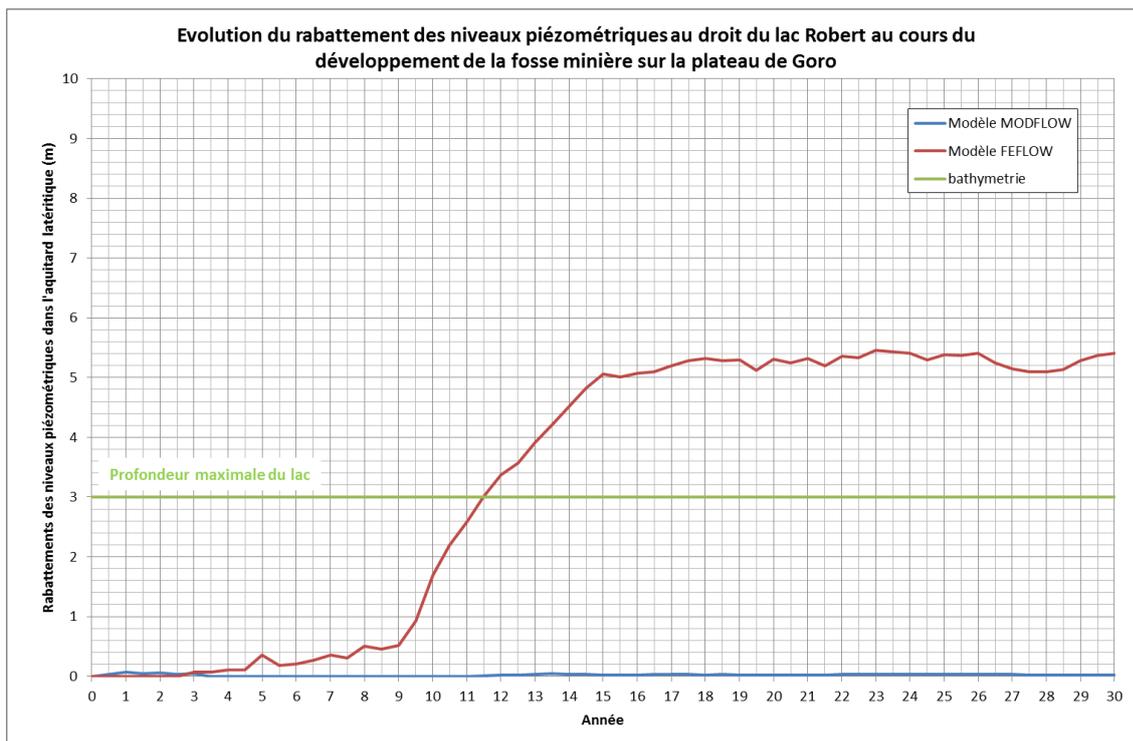


Figure 5 : Evolution simulée du rabattement des niveaux piézométriques dans l'aquitard latéritique au droit du lac Robert

Pour le secteur de la plaine des lacs, les perturbations induites par la fosse après 18 ans d'exploitation sont faibles voire non significatives.

Globalement, la perturbation FM25-2 est jugée :

- moyenne, d'extension ponctuelle et de longue durée pour les lacs Xere Wapo et Robert ;
- faible d'extension ponctuelle et de longue durée pour la partie sud-est de la plaine des Lacs.

7.3.2.3. Perturbation FM25-3 : déplacement ou disparition des limites de partage des eaux dans les chaînons rocheux

 Pièces graphiques – Cartes D42 et D43

Les résultats obtenus tendent à montrer que les dômes piézométriques restent présents dans les chaînons rocheux. Ils continuent à jouer leur rôle de limite de partage des eaux souterraines notamment au droit du projet de carrière CPVSKE (Cartes de rabattement des niveaux piézométriques D42 et D43).

Sur cette base, aucune perturbation hydrogéologique majeure n'est attendue notamment sur les bassins du creek de la crête Sud, de la Truu, de l'ancienne mine des japonais et de l'Entonnoir.

La perturbation FM25-3 est considérée comme non significative.

7.3.2.4. Perturbation FM25-4 : modification des débits de base et d'étiage de la Kwé Nord et de la Kwé Est

Pour la Kwé Nord, l'influence des aménagements miniers apparaît être très importante. Les résultats de la simulation suggèrent que la diminution de son débit de base par rapport à la situation naturelle va augmenter progressivement pour atteindre un palier entre 40 % et 50% à partir de la 22^{ième} année (Figure 6).

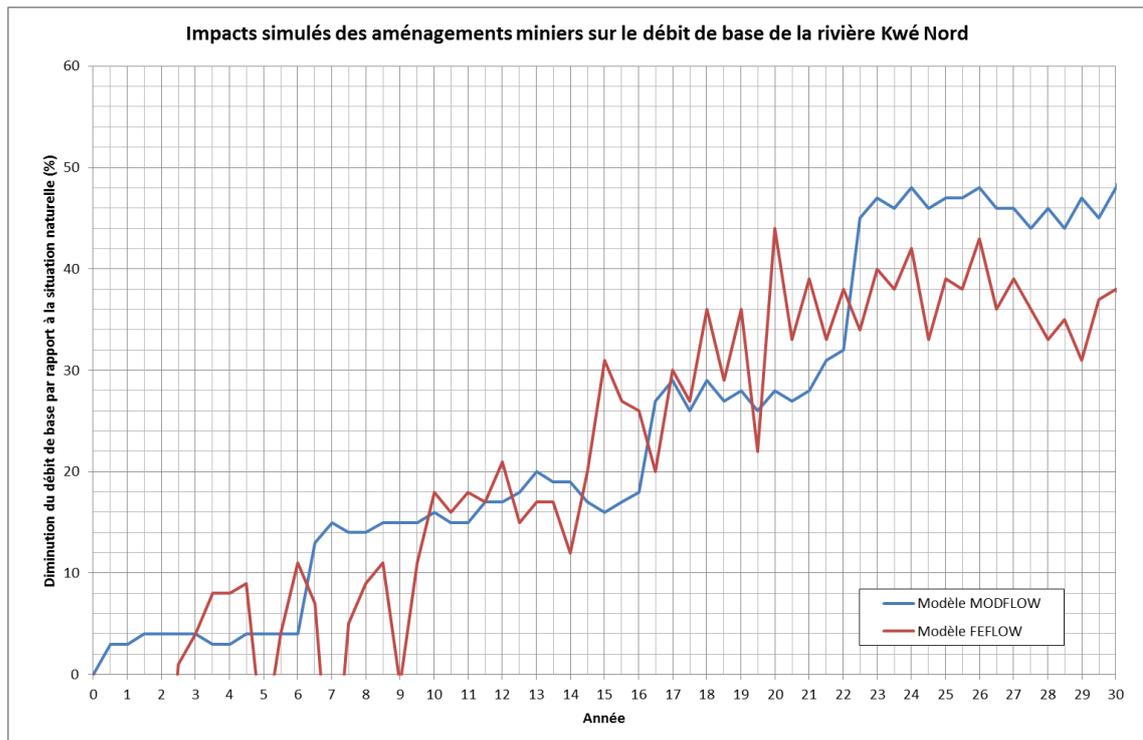


Figure 6 : Évolution simulée du débit de base de la rivière Kwé Nord à sa confluence au cours de l'exploitation minière Kwé

Cela est également le cas pour la Kwé Est (

Figure 7). Les simulations montrent que la diminution du débit de base de la Kwé Est pourrait atteindre entre 40 et 70% par rapport à la situation naturelle. L'impact potentiel est par conséquent très important. Des assèchements sont attendus hors période de crue. Des réflexions sont en cours afin de proposer des mesures d'atténuation en phase d'opération et de clôture du projet minier.

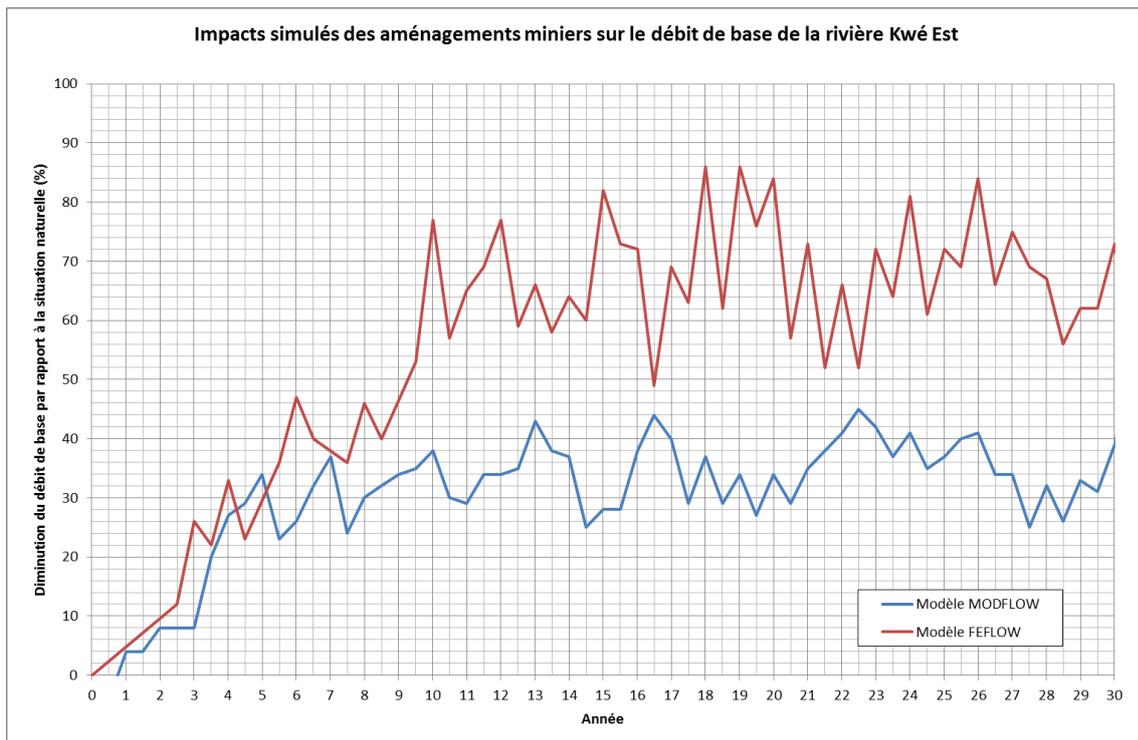


Figure 7 : Evolution simulée du débit de base de la rivière Kwé Est à sa confluence au cours de l'exploitation minière Kwé

L'évaluation des effets de cette perturbation sur le régime hydrologique de la Kwé Nord et de la Kwé Est est présentée au chapitre 8 Eau de Surface.

7.3.2.5. Perturbation FM25-5 : modification du débit de base et d'étiage des rivières au voisinage de la fosse minière

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Figure 8), la baisse du débit de base serait modérée, en moyenne de l'ordre de 10%. Il s'agit d'une approche conservatrice dans la mesure où le bassin endoréique supposé connecté à la Wadjana n'est pas pris en compte (1,42 km²). L'impact sur le débit de base de la Wadjana est vu comme modéré et ce en situation conservatrice ;
- la baisse de la contribution des bassins endoréiques de la Kwé Est amont et de l'Entonnoir au débit de la Truu (Figure 9) serait également modérée (de l'ordre de 10 à 20%). Ces 2 bassins endoréiques ne représentent que 25% de la surface totale du bassin d'alimentation de la rivière Truu. Leur contribution au débit de base de la Truu est considérée comme faible. Sur cette base, aucune modification significative du débit de base de la rivière Truu n'est attendue durant l'exploitation minière ;
- pour les autres rivières (creek de la crête Sud, Truu et Kwé Binyi), aucune modification du débit de base n'est également attendue.

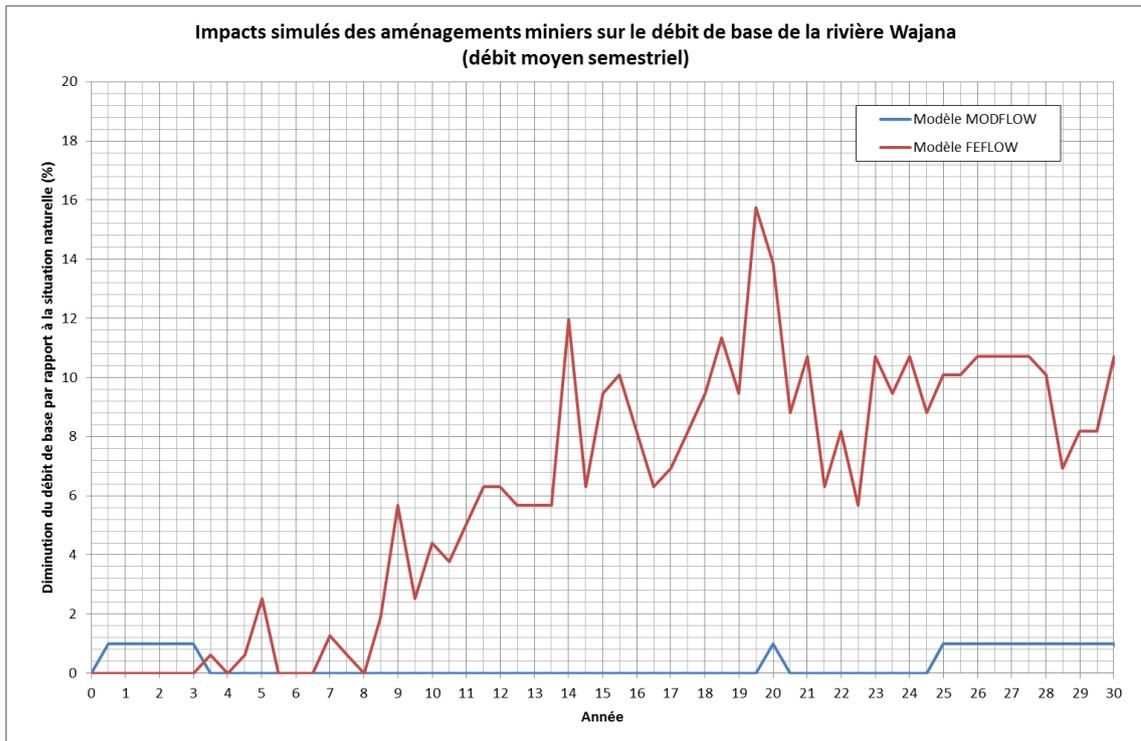


Figure 8 : Evolution simulée du débit de base de la rivière Wadjana (à la station radier) au cours de l'exploitation minière

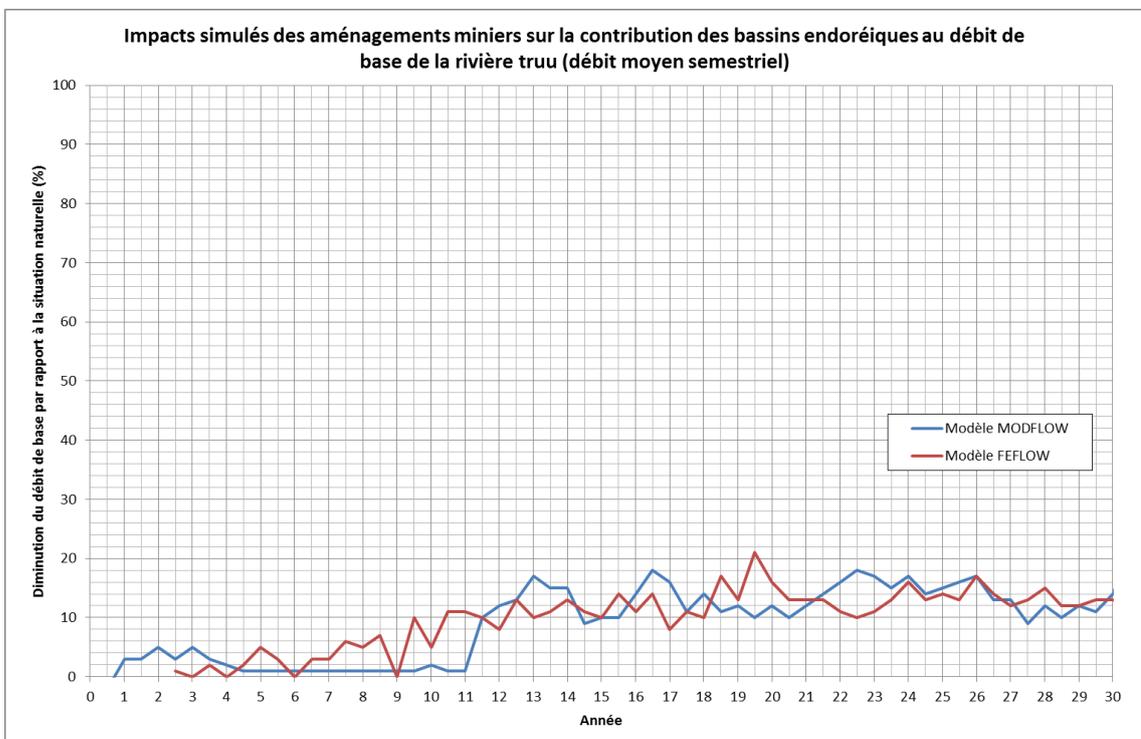


Figure 9 : Evolution simulée de la contribution des bassins endoréiques de la Kwé Est amont et de l'Entonnor au débit de base de la rivière Truu au cours de l'exploitation minière

Sur la base de ces résultats, la perturbation FM25-5 est jugée faible, d'extension locale et de longue durée.

7.3.2.6. Perturbation FM25-6 : Modification des relations hydrauliques entre la nappe principale et les rivières situées dans la zone d'influence de la fosse minière

Pièces graphiques – Carte D44

Les perturbations potentiellement attendues sont présentées à la carte D44 pour les rivières concernées.

Après 25 ans d'exploitation, les perturbations suivantes sont attendues sur la Kwé Nord en situation de basses eaux (Tableau 3) :

- la probabilité d'apparition de situation d'assecs est jugée forte pour l'affluent KN2 ;
- la proportion de tronçons qui devraient conserver un écoulement permanent passe de 69 % à 49 %. 26 % du réseau hydrographique sera détruit par la fosse minière.

Tableau 3 : Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin versant de la Kwé Nord en situation de basses eaux

	Kwé Nord	
	Situation naturelle	Situation dès 2036
Tronçon détruit par la fosse minière	0%	26%
Tronçon naturellement assec ou avec forte probabilité d'apparition d'assec	31%	25%
Tronçon avec écoulement permanent	69%	49%

Pour la Kwé Est, la perturbation devrait être importante avec un risque d'assèchement jugé fort sur 95 % du cours d'eau alors que les zones d'assec ne concernent que la première moitié amont de la rivière en situation naturelle (Tableau 4). À partir de 2036 (25ième année d'exploitation), l'écoulement devrait être pérenne sur les 500 derniers mètres de rivière environ.

Tableau 4 : Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin de la Kwé Est en situation de basses eaux

	Kwé Est	
	Situation naturelle	Situation dès 2036
Tronçon détruit par la fosse minière	0%	0%
Tronçon naturellement à sec ou avec forte probabilité d'apparition d'assec	52%	95%
Tronçon avec écoulement permanent	48%	5%

Pour la Kwé Nord, l'apparition de phénomènes d'assèchement diminue très fortement en situation de moyennes et de hautes eaux. Le risque reste *a priori* fort pour la Kwé Est.

Pour la Wadjana (Tableau 5), l'apparition de phénomènes d'assèchement ne devrait concerner que 28 % du linéaire de la rivière en situation de basses eaux, ce qui correspond aux 800 premiers mètres du cours amont de la rivière. Les jaugeages réalisés depuis 2011 dans ce secteur montrent

que les débits sont naturellement très faibles (de l'ordre de 5 l/s contre 100 l/s au niveau de la prise d'Enercal plus en aval). L'ampleur de la perturbation est donc considérée comme faible. Par ailleurs, le risque de mise en place d'a-secs est jugé très faible en situation de moyenne et de basses eaux.

Tableau 5 : Évolution du type d'écoulement dans les tronçons de rivière situés dans le bassin versant de la Wadjana en situation de basses eaux

	Wadjana	
	Situation naturelle	Situation dès 2036
Tronçon détruit par la fosse minière	0%	0%
Tronçon naturellement assec ou avec forte probabilité d'apparition d'assec	0%	28%
Tronçon avec écoulement permanent	100%	72%

Pour la Kwé Nord et la Kwé Est, les perturbations pourront avoir des effets plus ou moins marqués sur leur fonctionnement écologique. Ce point fait l'objet d'une étude dont les principales conclusions sont présentées dans le livret C au chapitre sur les impacts sur les rivières.

Pour la Wadjana, la perturbation FM25-6 est jugée faible, d'extension ponctuelle et de longue durée.

Pour les autres rivières (Entonnoir, ancienne mine des japonais, creek de la crête Sud, Truu et Kwé Binyi), la perturbation est non significative.

7.4. SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION DES PERTURBATIONS HYDROGÉOLOGIQUES POTENTIELLES

Le tableau 6 constitue la synthèse de l'évaluation des perturbations d'origine hydrogéologique. Lorsque des différences sensibles sont apparues entre les évaluations fournies par les 3 modèles mathématiques, c'est l'impact le plus marqué qui a été systématiquement retenu dans le cadre de la présente synthèse.

Tableau 6 : Synthèse de l'analyse des perturbations hydrogéologiques et de leurs conséquences hydrologiques

Nature de la perturbation	N° de perturbation	Secteur	Grandeur	Etendue	Durée
Perturbations de type 1 : Modification des écoulements souterrains	KO4-1	Kwé Ouest	Faible	Locale	Longue durée
		Kaori et Kadji	Non-significative	–	–
		Port-Boisé (Trou Bleu et Kû Mwa Nirê)	Non-significative	–	–
	FM25-1	Sud-est de la Plaine des Lacs	Faible	Locale	Longue durée
		Kwé Nord et Est	moyenne	Locale	Longue durée
		Wadjana	Faible	Locale	Longue durée
		Autres bassins (Kué Binyi, Entonnoir, ancienne mine des Japonais, Truu et Creek Crête Sud)	Non-significative	–	–
Perturbations de type 2 : Modification de la relation hydraulique entre les nappes, les lacs et les zones humides pouvant entraîner une baisse des plans d'eau voire un assèchement saisonnier ou permanent		Kwé			
	FM25-2	Sud Est de la Plaine des Lacs	faible	ponctuelle	longue durée
		Kwé Nord et Est	moyenne	ponctuelle	longue durée
		Wadjana	non significative	–	–
		Autres bassins (Kué Binyi, Entonnoir, ancienne mine des japonais, Truu et creek crête Sud)	non significative	–	–

Nature de la perturbation	N° de perturbation	Secteur	Grandeur	Etendue	Durée
Perturbations de type 3 : Disparition des limites de partage des eaux souterraines dans les chaînons rocheux pouvant entraîner des échanges d'eau entre les bassins versants naturellement non connectés	KO4-2	Kwé Ouest	Non-significative	–	–
		Kaori et Kadji	Non-significative	–	–
		Port-Boisé (Trou Bleu et Kû Mwa Nirê)	Non-significative	–	–
		Grand Lac	Non-significative	–	–
	FM25-3	Sud-est de la Plaine des Lacs	Non-significative	–	–
		Kwé Nord et Est	Non-significative	–	–
		Wadjana	Non-significative	–	–
		Autres bassins (Kué Binyi, Entonnoir, ancienne mine des Japonais, Truu et Creek Crête Sud)	Non-significative	–	–
Perturbations de type 4 : Modification de la contribution totale des écoulements souterrains aux débits de base et d'étiage des rivières	KO4-3	Kwé Ouest	Voir Tableau 12 du chapitre 3 "Eaux de surface"		
		Kaori et Kadji	Non-significative	–	–
		Port-Boisé (Trou Bleu et Kû Mwa Nirê)	Non-significative	–	–
	FM25-4	Kwé Nord	Voir Tableau 12 du chapitre 3 "Eaux de surface"		
		Kwé Est	Voir Tableau 12 du chapitre 3 "Eaux de surface"		
	FM25-5	Wadjana	Faible	Ponctuelle	Longue durée
		Kué Binyi	Non-significative	–	–
		Truu	Non-significative	–	–
		Autres bassins	Non-significative	–	–
Perturbations de type 5 : Modification des relations hydrauliques entre les nappes d'eau souterraine et les rivières pouvant entraîner des diminutions de débit ou des assèchements à l'échelle des tronçons	KO4-4	Kwé Ouest	Analyse des perturbations écologiques induites en cours		
		Kaori et Kadji	Non-significative	–	–
		Port-Boisé (Trou Bleu et Kû Mwa Nirê)	Non-significative	–	–
	FM25-6	Kwé Nord	Analyse des perturbations écologiques induites en cours		
		Kwé Est	Analyse des perturbations écologiques induites en cours		
		Wadjana	Faible	Ponctuelle	Longue durée
		Autres bassins	Non-significative	–	–

Nature de la perturbation	N° de perturbation	Secteur	Grandeur	Etendue	Durée
Perturbations de type 6 : Modification des échanges d'eau souterraine entre bassins versants		Kwé			
	FM25-1	Plaine des Lacs vers Kwé Nord	Faible	Ponctuelle	Longue durée
	FM25-5	Kwé Nord vers Wadjana	Faible	Ponctuelle	Longue durée
	KO4-6	Kwé Ouest vers Trou Bleu	Non-significative	–	–
	KO4-6 et FM25-5	Autres bassins	Non-significative	–	–

8 PERTURBATION DES ECOULEMENTS DE SURFACE

8.1. PERTURBATIONS SUR LES REGIMES HYDROLOGIQUES ET LES CRUES

Dans cette partie, est évalué l'impact quantitatif du projet minier sur les eaux de surface, c'est à dire le régime hydrologique et les crues. Les aménagements miniers pris en compte sont les même que pour l'évaluation des perturbations de nature hydrogéologique.

Le bassin de KO4 a également fait l'objet d'un traitement particulier. Au cours des 25 prochaines années, ce secteur sera potentiellement concerné par le développement de projets d'aménagements.

Sans préjuger de leur nature effective, il a été décidé de considérer qu'au droit de ces aménagements, les pluies futures ne pourraient plus s'infiltrer tout ou partie et iraient alimenter le ruissellement. La superficie concernée fait 360 ha ce qui représente 20% du bassin versant de la Kwé Ouest ou encore 12% du bassin versant de la Kwé principale.

Cette hypothèse de travail conduit à une évaluation conservatrice des impacts hydrologiques potentiels dans le bassin de la Kwé Ouest en matière de régime hydrologique et de crue.

Cette évaluation d'impact a été réalisée pour les 2 situations suivantes :

- état actuel : l'état d'anthropisation des bassins versants correspond à la situation observée en 2013 ;
- état après 25 ans d'exploitation : il s'agit de l'état projeté après 25 années de développement minier. Cela correspond à l'année 2036.

Les principaux facteurs d'influence des écoulements de surface sont :

- les transferts de bassins versants induits par les ouvrages de gestion des eaux associés au creusement de la fosse, et l'exploitation du parc à résidus de la Kué Ouest ;
- l'évolution des propriétés de ruissellement du site minier donnée par l'ensemble des surfaces anthropisées du bassin de la Kwé.

Ces éléments présentés dans les chapitres ci-dessous précèdent l'analyse des impacts du projet minier sur le régime hydrologique et les crues.

8.1.1. Facteurs d'influence des écoulements de surface

8.1.1.1. Évolution de la superficie des sous-bassins versants de la rivière Kwé

L'évolution de la surface des bassins versants est induite par les transferts d'eau d'un bassin versant vers un autre. Ces transferts concernent :

- les bassins de la Kwé Nord et de la Kwé Ouest : une superficie de 19 ha du bassin initial de la Kwé Nord est transférée vers la Kwé Ouest, correspondant à une part du secteur SMLT transférée de la Kwé Nord (KN1) vers la Kwé Ouest (KO5) ;
- les bassins de la Kwé Est et de la Kwé Nord : la fosse minière empiète sur le bassin de la Kwé Est au profit de la Kwé Nord. La fosse minière occupe 21 ha de la Kwé Est à la fin 2013, et 92,5 ha après 25 ans d'exploitation ;
- le bassin versant de la Kwé Ouest : en phase d'exploitation, le parc à résidus de la Kwé Ouest rejette les eaux traitées au niveau de l'émissaire marin et non dans la rivière du bassin versant qu'il occupe. En 2013, une superficie de 140 ha ne contribue plus aux écoulements de la Kwé Ouest (soit 7% du bassin de la Kwé Ouest, soit 4% du bassin de la Kwé). En 2036, le parc à résidus de la Kwé Ouest ne sera plus exploité. le transfert à l'émissaire ne sera donc plus effectif.

8.1.1.2. Évolution des propriétés de ruissellement du bassin de la Kwé

Le tableau 7 présente l'évolution de la surface des sous-bassins versants drainés par la rivière Kwé et celui de son cours principal en aval. Le tableau présente également la proportion des bassins versants anthropisée entre l'état initial, actuel, et après 25 ans d'exploitation minière.

L'état à fin 2036 correspond à l'état d'anthropisation maximum du site sans tenir compte des effets induits par les projets de revégétalisation et de réhabilitation déjà effectués.

Tableau 7 : Évolution de la superficie des bassins versants du projet minier

	Etat Initial (km ²)	Etat actuel (2013)		Etat en fin d'exploitation (2036)	
		Surface totale (km ²)	Part du BV anthropisée (%)	Surface totale (km ²)	Part du BV anthropisée (%)
Kwé Nord	10,86	10,88	15%	11,59	69%
Kwé Ouest	18,04	16,83	21%	18,23	52%
Kwé Est	2,24	2,03	17%	1,32	16%

En comparant l'état initial et l'état final, les superficies des principaux sous bassins versants de la Kwé évoluent de la manière suivante :

- la superficie du bassin de la Kwé Nord augmente de 7% entre l'état initial et final. À la fin de la période d'exploitation, 69% de la superficie du bassin versant aura été anthropisée ;
- la superficie du bassin de la Kwé Ouest augmente de 1% à la fin de la période d'exploitation. À l'état actuel, la surface contributive aux écoulements diminue de 7% pour le parc à résidus de la Kwé Ouest. À la fin de la période d'exploitation, 52% de la superficie du bassin versant aura été anthropisée ;

- la superficie du bassin de la Kwé Est diminuée de 41% sur l'ensemble de la période d'exploitation. À la fin de la période d'exploitation, 16% de la superficie du bassin versant aura été anthropisée ;
- la superficie du bassin de la Kwé principale est diminuée de 4% en 2013. Cette diminution correspond au transfert du parc à résidus de la Kué Ouest à l'émissaire marin. À la fin de la période d'exploitation, la superficie du bassin versant est la même qu'à l'état initial. L'anthropisation du bassin versant total atteindra 59%, à la fin de la période d'exploitation.

Les surfaces anthropisées du bassin versant de la Kwé prises en compte dans l'analyse sont présentées à la Figure 10.

L'anthropisation des bassins versants engendre une imperméabilisation des sols qui implique :

- une augmentation des écoulements superficiels et une diminution des écoulements souterrains ;
- une modification des propriétés de ruissellement entraînant une intensification des crues courantes et rares.

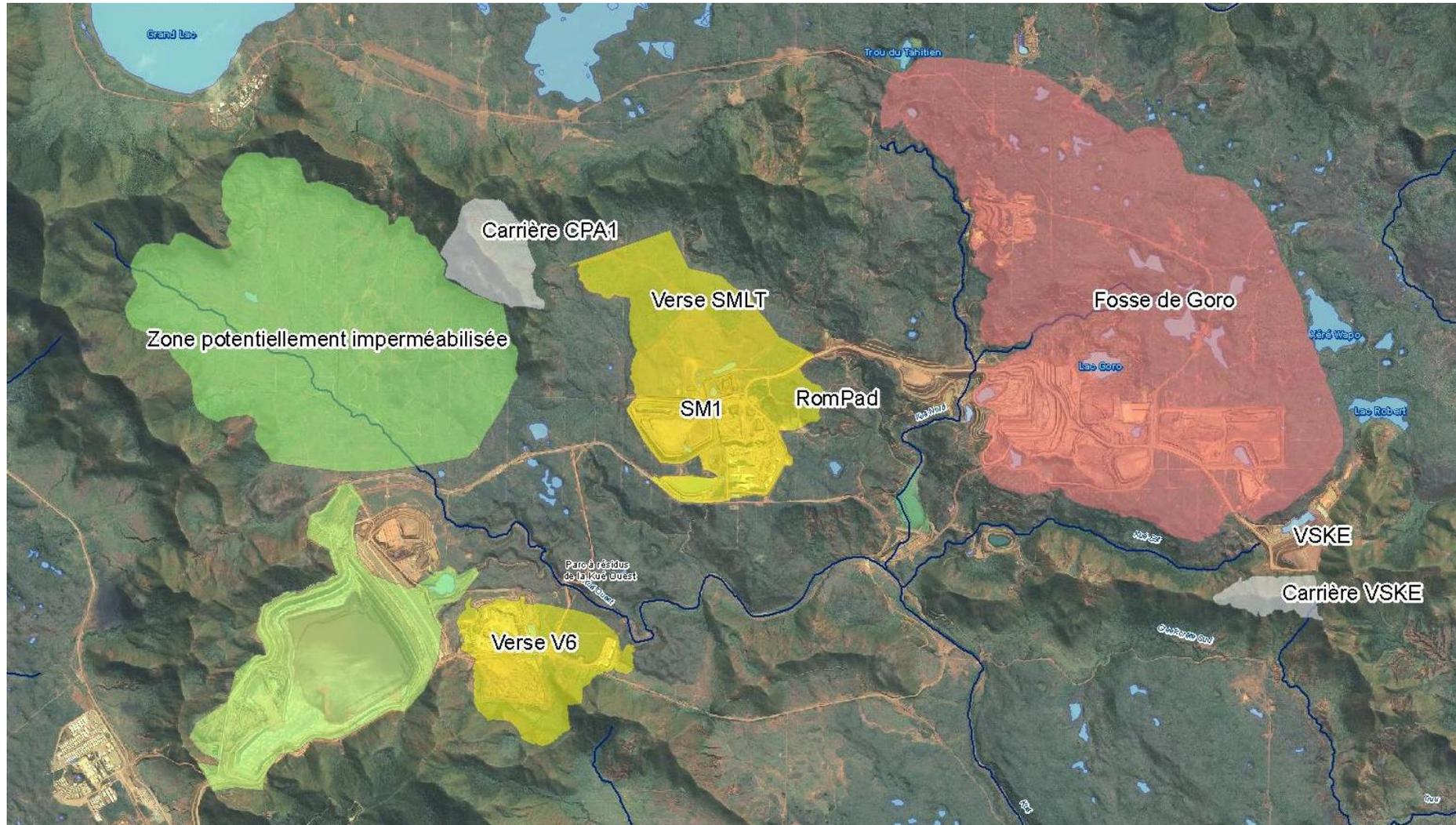


Figure 10 : Evolution des surfaces anthropisées du bassin de la Kwé

8.1.2. Perturbations sur les régimes hydrologiques

8.1.2.1. Bilan hydrologique du bassin de la Kwé à l'état initial

☞ Se référer au document – Bilans hydrologiques – Bassin versant de la Kwé et Plaine des Lacs (A2EP, 2012d)

L'étude des impacts potentiels d'une fosse minière de grande dimension sur les eaux superficielles et souterraines du secteur est fondée en grande partie sur la mise en œuvre de 3 modèles mathématiques hydrogéologiques à l'échelle régionale, et sur les résultats de simulations de scénarios d'aménagements.

Le bilan hydrologique du bassin versant de la Kwé au niveau des rivières Kwé Nord, Kwé Ouest, et Kwé principale, constitue une étape nécessaire à la compréhension et à la description du fonctionnement du bassin à l'état initial ainsi qu'une étape préalable à l'établissement des effets induits par le creusement d'une fosse minière et les différentes infrastructures du projet minier.

Une étude de détermination des bilans hydrologiques du bassin de la Kwé a été réalisée par la société A2EP en avril 2012 (A2EP, 2012d).

Ces bilans ont été réalisés avec le modèle GARDENIA (BRGM, 2003), un modèle hydrologique global de bassins versants qui permet, à partir de séquences de données météorologiques (pluie et évapotranspiration potentielle ETP) sur un bassin d'alimentation, de calculer le débit à l'exutoire d'un cours d'eau. La représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant est illustrée sur la Figure 11.

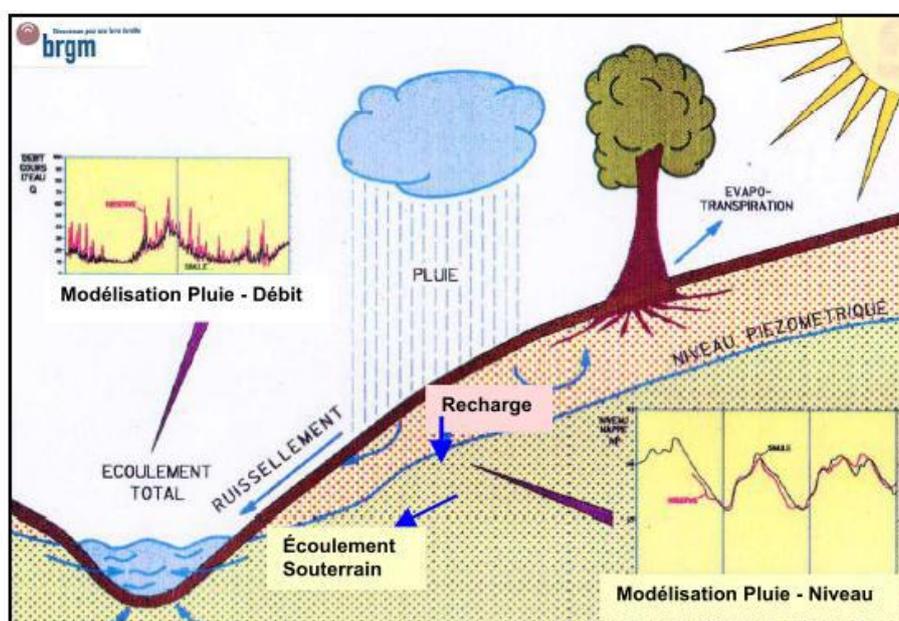


Figure 11 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant

Le modèle GARDENIA simule le fonctionnement du cycle de l'eau par un système de 3 ou 4 réservoirs en cascade (Figure 12) qui représentent respectivement :

- les premières dizaines de centimètres de sol dans lesquelles se produit l'évapotranspiration (zone d'influence des racines de la végétation). Cette zone est le réservoir superficiel correspondant à la réserve disponible pour l'évapotranspiration ;

- dans cette zone, on a $\text{Pluie} - \text{ETP} = \text{Pluie efficace}$;
- une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide caractérisant le ruissellement de surface. C'est la zone non saturée, alimentée par le réservoir superficiel (Pluie efficace) et vidangée par deux exutoires :
 - une vidange par recharge dans le réservoir souterrain, produisant ainsi l'écoulement souterrain ;
 - une vidange par écoulement à l'extérieur sous forme de composante rapide du débit de surface ;
- une ou deux zone(s) aquifère(s) qui produise(nt) un écoulement lent caractérisant les écoulements souterrains. Le réservoir souterrain est alimenté par le réservoir intermédiaire (recharge) et vidangé par un ou deux exutoires produisant les débits souterrains lents (et très lents, si deux zones aquifères).

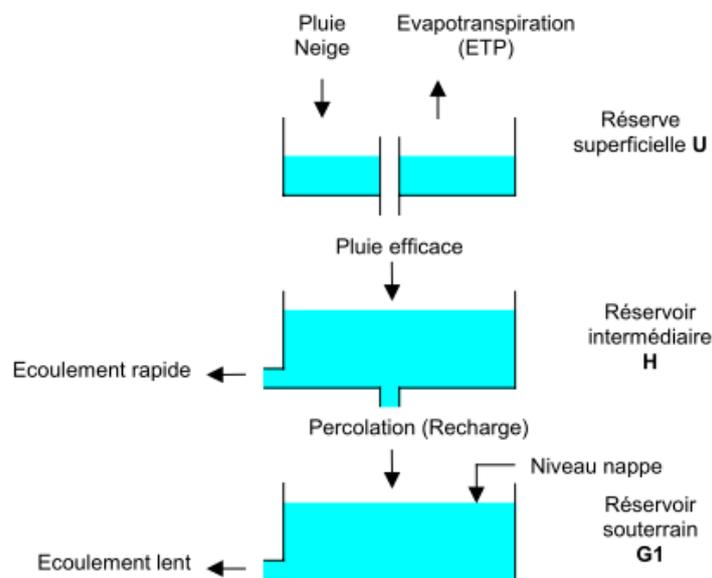


Figure 12 : Schéma de fonctionnement des réservoirs en cascade de GARDENIA

Le modèle GARDENIA permet donc la simulation d'un débit à l'exutoire d'un bassin versant avec la répartition des composantes rapides de surface et lentes souterraines.

Les bilans hydrologiques ont été établis au niveau des stations hydrométriques KAL, KNL et KOL implantées respectivement sur la Kwé principale, la Kwé Nord et la Kwé Ouest. Le modèle de la station KAL a été calé sur les données observées de la période 1998-2010 et celui de la station KNL sur les données observées de la période 1998-2008. La longueur de la chronique d'observation à KOL étant faible, une autre modélisation a été introduite sur la différence des débits entre les stations KAL et KNL, correspondant aux bassins versants de la Kwé Est et Ouest, noté « Bassin intermédiaire ».

Par manque de données d'observations, aucun bilan hydrologique n'a été réalisé sur la rivière Kwé Est. Pour la présente évaluation des impacts, on considérera que le bilan hydrologique de la Kwé Nord s'applique au bassin de la Kwé Est.

Les résultats de simulation fournissent pour chaque bassin considéré, les composantes du bilan hydrologique au pas de temps mensuel, exprimé en lame d'eau. Ce bilan est composé de :

- la pluie du bassin versant ;
- l'ETP/ETR ;
- la pluie efficace ;
- l'écoulement total Q_{tot} ;
- la composante d'écoulement de surface Q_{surf} ;
- la composante d'écoulement souterrain Q_{sout} .

Les bilans hydrologiques représentatifs de l'état initial sont fournis dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Bilan hydrologique du bassin de la Kwé (mm)

		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Kwé Nord	Pluie	330	417	486	476	269	193	195	192	210	167	145	282	3363
	ETP	134	119	113	89	72	61	60	71	86	107	115	130	1156
	ETR	121	112	112	89	72	61	60	70	79	90	98	108	1073
	Pl. Eff	201	302	370	390	196	133	135	127	142	81	51	164	2291
	Recharge	76	83	109	115	78	60	59	57	55	56	40	62	850
	Q tot	175	259	325	371	203	148	165	141	150	119	84	150	2288
	Q surf	117	202	256	295	123	72	90	69	84	53	25	92	1478
	Q sout	58	56	68	75	80	76	75	72	67	66	59	58	810
Kwé Ouest	Pluie	312	395	449	452	253	187	181	176	197	143	133	255	3131
	ETP	134	119	113	89	72	61	60	71	86	107	115	130	1156
	ETR	122	113	111	88	71	60	59	69	80	92	98	107	1072
	Pl. Eff	172	282	325	366	181	129	124	111	127	67	41	135	2059
	Recharge	66	80	97	97	72	57	55	52	53	58	38	58	784
	Débit extér.	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	148
	Q tot	160	272	321	386	208	148	153	127	135	103	65	132	2211
	Q surf	97	195	223	272	111	70	79	59	72	42	16	79	1314
	Q sout	51	65	85	101	84	66	61	55	51	49	36	41	746
Kwé Principale	Pluie	302	397	455	435	266	186	182	174	188	159	158	239	3142
	ETP	133	118	113	89	72	61	60	71	86	107	115	130	1154
	ETR	120	111	110	88	71	60	58	69	77	89	97	104	1052
	Pl. Eff.	174	280	337	352	193	128	127	111	119	77	64	131	2092
	Recharge	72	91	118	124	85	65	63	58	57	58	48	63	903
	Q tot	155	248	307	356	202	140	148	122	123	102	79	128	2109
	Q surf	91	175	216	249	108	62	75	55	61	41	26	71	1231
	Q sout	64	73	92	107	94	78	73	67	61	61	53	56	879

8.1.2.2. Analyse des effets du projet minier sur le régime hydrologique de la Kwé

Les effets potentiels du projet minier sur le régime hydrologique de la rivière Kwé et de ses principaux affluents ont été évalués en altérant les composantes ruissellement et infiltration des bilans hydrologiques présentés précédemment. Pour établir ces changements, 2 méthodologies ont été utilisées :

- **méthode 1** : l'augmentation du ruissellement et la diminution des apports souterrains sont proportionnelles aux surfaces anthropisées ;
- **méthode 2** : la diminution des apports souterrains est donnée par les résultats des 3 modèles hydrogéologiques développés à l'échelle régionale. Pour chaque rivière, le résultat le plus conservateur des 3 modèles a systématiquement été retenu pour l'analyse.

L'ensemble des résultats obtenus à l'aide de ces 2 méthodes est présenté dans les paragraphes suivants.

Méthode 1 : Diminution des apports souterrains proportionnelle aux surfaces anthropisées

Pour l'évaluation des effets du projet minier sur le régime hydrologique du bassin de la Kwé, on part des composantes des bilans hydrologiques auxquelles on intègre les effets d'anthropisation présentés dans le Tableau 7. La méthode d'évaluation retenue pour l'analyse des effets est la suivante :

- on considère que toute la pluie tombant sur les surfaces anthropisées contribue directement à l'écoulement de surface, il n'y a alors pas de recharge souterraine sur ces sols. L'effet des surfaces anthropisées sur les écoulements de surface s'écrit donc :
 - soit RO, la proportion mensuelle de ruissellement de surface (Qsurf) provenant de la pluie efficace $RO\% = \frac{Q_{surf}}{Pluie\ Eff}$, ces valeurs sont issues des bilans hydrologiques initiaux ;
 - soit SA et STOT, la surface anthropisée et la surface totale de chaque bassin versant considéré ;
 - le débit de surface s'exprime alors de la manière suivante :

$$Q_{surf} = \frac{Pluie\ eff \times [RO\% \times (S_{Tot} - S_A) + S_A]}{S_{Tot}} \text{ (en mm)} ;$$

- on considère qu'il n'y a plus de recharge des écoulements souterrains sur les surfaces anthropisées. Le débit souterrain s'écrit alors :

$$Q_{sout} = \frac{Pluie\ eff \times (S_{Tot} - S_A) \times (1 - RO\%)}{S_{Tot}} \text{ (en mm)}.$$

Cette méthode d'évaluation donne une diminution des apports souterrains proportionnelle à la surface anthropisée pour chaque horizon temporel considéré.

L'évolution du débit mensuel (Qsurf + Qsout) à l'exutoire de chaque sous bassin de la Kwé entre l'état initial et l'état final peut être résumée ainsi :

- Sur la Kwé Nord, l'évolution du régime hydrologique est illustrée sur la Figure 13. Tout au long de la période d'exploitation, on constate une augmentation des débits de saison humide et une diminution des débits de saison sèche par rapport à l'état initial :

- en 2013, les ruissellements de surface ont augmenté de 5 à 16%. Les écoulements souterrains ont été diminués de 15%. Le débit total varie de -6% en novembre à +3% en février. Le débit moyen interannuel reste inchangé ;
- en 2036, les ruissellements de surface vont augmenter entre 22 et 73% tandis que les écoulements souterrains seront diminués de 69%. Le débit total varie de -22% en novembre à +17% en février. Le débit moyen interannuel est augmenté de 7%.

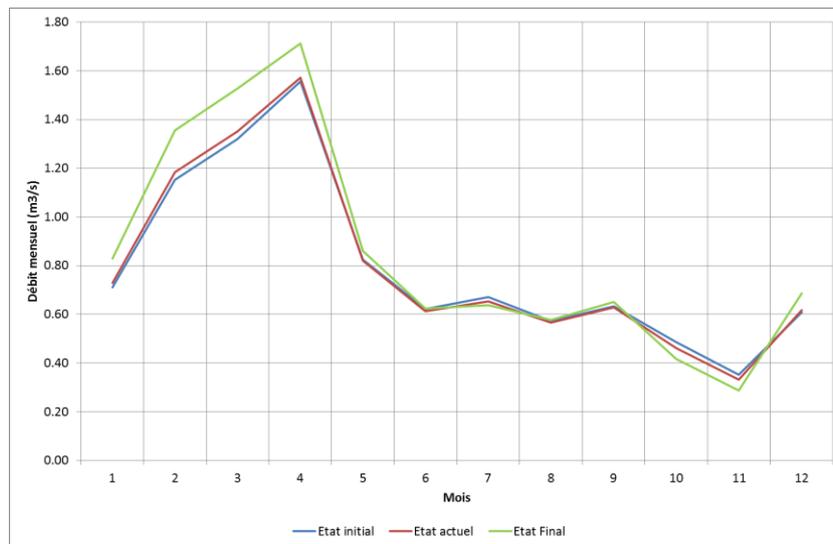


Figure 13 : Évolution du régime hydrologique de la Kwé Nord

- L'évolution du régime hydrologique de la Kwé Ouest est illustrée sur la Figure 14 :
 - en 2013, l'ensemble des débits mensuels est diminué: -3% en janvier à -12% en octobre. Cette baisse correspond au transfert d'eau du parc à résidus de KWRSF vers l'émissaire marin. Au pas de temps annuel, le débit moyen est diminué de 7%. Kwé ;
 - en 2036, à la fin de la période d'exploitation, les ruissellements de surface seront augmentés de 19 à 84%. Le débit moyen interannuel sera sensiblement le même qu'à l'état initial (augmentation de 1%, proportionnelle à l'évolution de la superficie du bassin versant). Les débits de saison humide peuvent être augmentés jusqu'à 11% en janvier et diminués jusqu'à 14% en novembre.

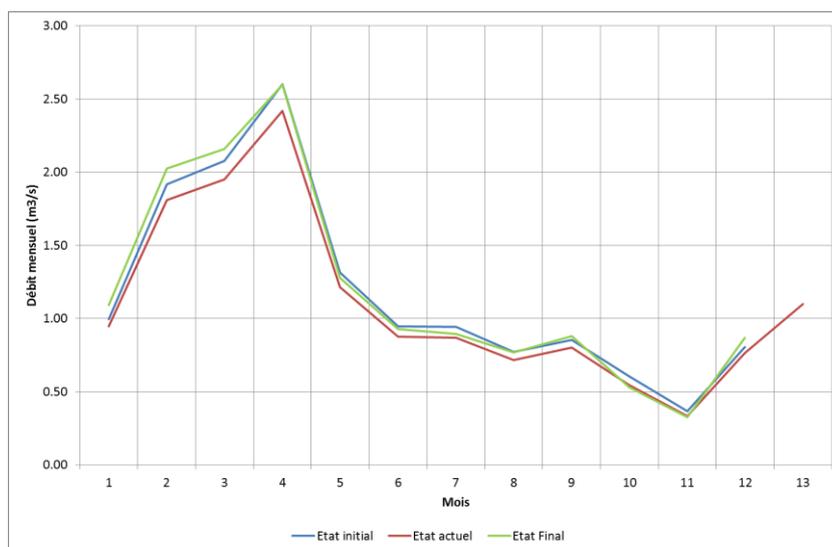


Figure 14 : Évolution du régime hydrologique de la Kwé Ouest

- Sur la Kwé Est, l'évolution du régime hydrologique est illustrée sur la Figure 15. On constate une diminution des débits annuels proportionnelle à la diminution de la superficie du bassin versant :
 - en 2013, les débits moyens mensuels diminuent de 7 à 15%. Le débit moyen annuel diminue de 9% ;
 - en 2036, à la fin de la période d'exploitation, les débits moyens mensuels vont diminuer de 40 à 45%. Le débit moyen interannuel va diminuer de 41%. Ce bassin versant risque d'être caractérisé par de longues périodes d'assec en situation de basses et de moyennes eaux.

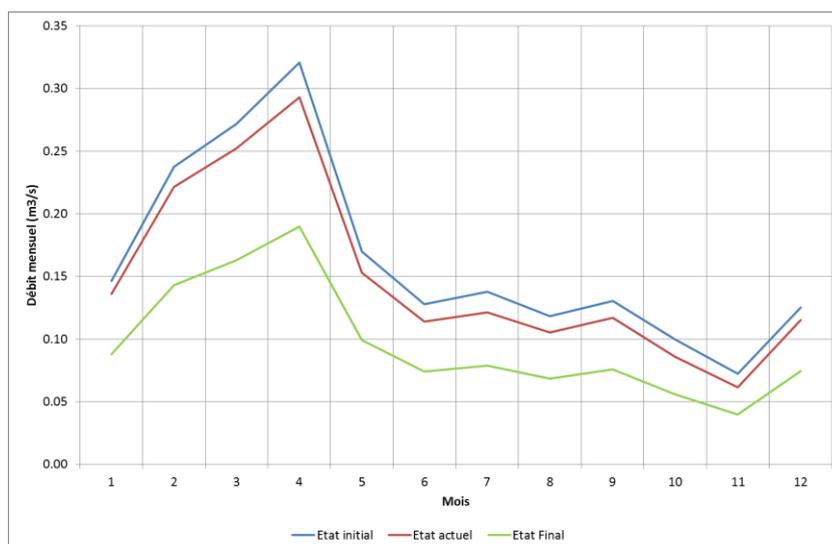


Figure 15 : Évolution du régime hydrologique de la Kwé Est

- L'évolution du régime hydrologique de la Kwé principale est illustrée sur la Figure 16. Aux différents horizons temporels, on constate :
 - en 2013, les débits moyens mensuels sont diminués de 2% en janvier-février à 9% en octobre. Le débit moyen interannuel est diminué de 5%, correspondant au transfert du parc à résidus de la Kué Ouest vers l'émissaire marin ;
 - en 2036, à la fin de la période d'exploitation, le débit moyen interannuel sera le même qu'à l'état initial. Néanmoins, les surfaces anthropisées auront pour effet de renforcer les débits de saison humide (8% en février) et de diminuer les apports de saison sèche (-15% en octobre) ;

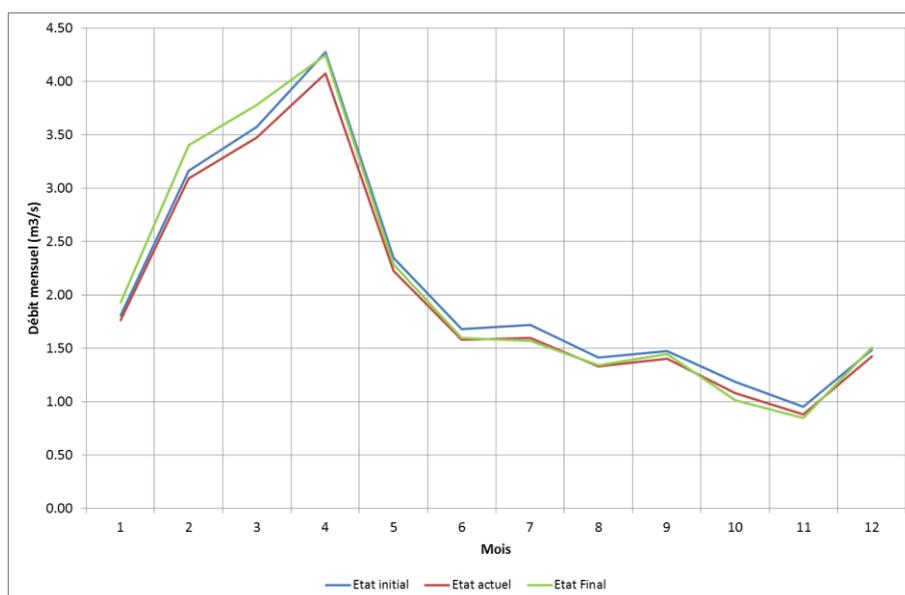


Figure 16 : Évolution du régime hydrologique de la Kwé principale

Méthode 2 : Diminution des apports souterrains en fonction des résultats des modèles hydrogéologiques

Les modèles hydrogéologiques élaborés pour le site de Goro ont permis la simulation des niveaux piézométriques et les débits souterrains en fonction de l'évolution de la fosse minière. Afin d'évaluer les effets du projet minier sur le régime hydrologique du bassin de la Kwé, on part une nouvelle fois des composantes des bilans hydrologiques auxquels on intègre la baisse des débits de base et d'étiage fournie par les modèles hydrogéologiques.

Partant des bilans hydrologiques à l'état initial, on procède de la manière suivante :

- la composante de débit souterrain donnée par les modèles hydrogéologiques s'écrit :

$$Q_{sout} = A\% \times Q_{sout\ initial}$$

Où : A% correspond à la variation du débit souterrain entre un état donné et l'état initial.

- Le débit souterrain estimé correspond alors à une proportion de la pluie efficace que l'on note GW%, soit :

$$GW\% = \frac{Pluie\ Eff}{Q_{sout}}$$

La pluie efficace restant la même malgré l'évolution de la fosse minière, le débit de surface s'exprime alors :

$$Q_{surf} = Pluie\ Eff \times (1 - GW\%)$$

Cette méthode d'évaluation permet donc l'estimation de l'augmentation du ruissellement proportionnellement à la baisse des niveaux piézométriques.

À la fin de la période d'exploitation, les résultats obtenus sont les suivants :

- sur la Kwé Est, les résultats de simulation montrent une diminution des débits souterrains de l'ordre de 60%. Cette baisse des niveaux piézométriques impliquera une baisse du débit moyen interannuel de 41% et les variations saisonnières seront comprises entre -32% en janvier et -64% en novembre ;
- sur la Kwé Nord, les résultats de simulation montrent une diminution des débits souterrains de l'ordre de 40%. En tenant compte des transferts de bassins versants de la Kwé Est vers la Kwé Nord et de l'augmentation du ruissellement au détriment de la recharge d'eau souterraine, on constate une augmentation du débit moyen interannuel de l'ordre de 7% avec des variations saisonnières de -35% en novembre à +25% en février ;
- sur la Kwé Ouest, les résultats de simulation montrent une diminution des débits souterrains de l'ordre de 20 % à 50 %. La baisse des recharges souterraines étant compensée par une augmentation des ruissellements, le débit moyen interannuel de la rivière Kwé Ouest sera inchangé, mais des variations saisonnières accentuées sont attendues avec -25 % du débit en octobre et +18 % du débit en janvier ;
- sur la Kwé principale, l'estimation des impacts induits par la baisse des apports souterrains et l'augmentation du ruissellement est obtenue en faisant une moyenne pondérée des bilans d'eau de chaque branche de la Kwé (Est, Nord et Ouest). La comparaison des bilans d'eau entre l'état initial et l'état final fournit une estimation des effets induits par le projet minier sur l'ensemble du bassin de la Kwé : le débit moyen interannuel est assez stable (augmentation de l'ordre de 2% seulement) et les variations saisonnières attendues varient entre -32% en octobre-novembre et +16% en janvier.

Synthèse des effets du projet minier sur le régime hydrologique de la Kwé

Les deux méthodes utilisées pour l'évaluation des effets induits par le projet minier sur le régime hydrologique donnent des résultats présentant les mêmes tendances, comme le montrent les figures 17 à 20 ci-dessous. Sur ces figures, pour chaque branche de la Kwé étudiée, sont représentés :

- les débits moyens mensuels à l'état initial et à l'état final, selon les deux méthodes d'évaluation présentées ci-dessus : la diminution des apports souterrains proportionnelle aux surfaces anthropisées est illustrée avec l'état final 1 et la diminution des apports souterrains en fonction des résultats des modèles hydrogéologiques est illustrée avec l'état final 2 ;
- Les écarts relatifs entre les débits moyens mensuels de l'état initial et de l'état final, exprimés en %.

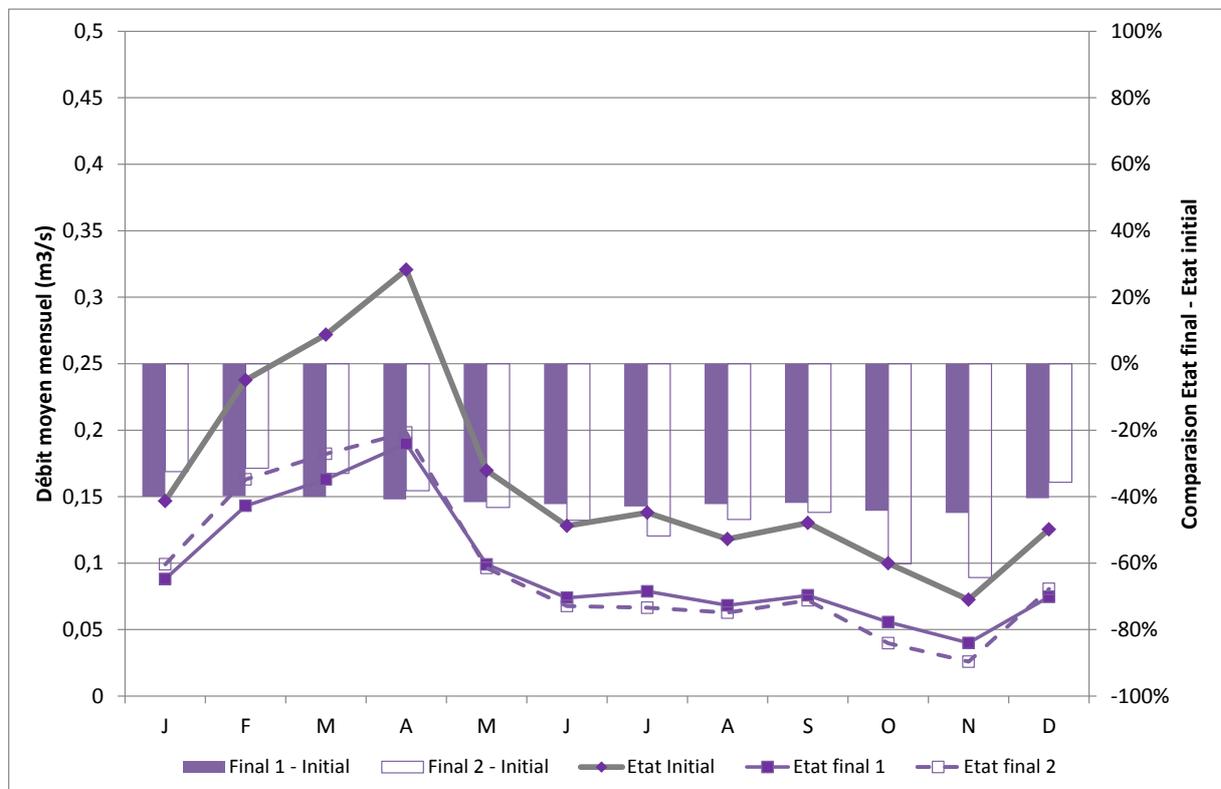


Figure 17 : Comparaison État final – État initial – Kwé Est

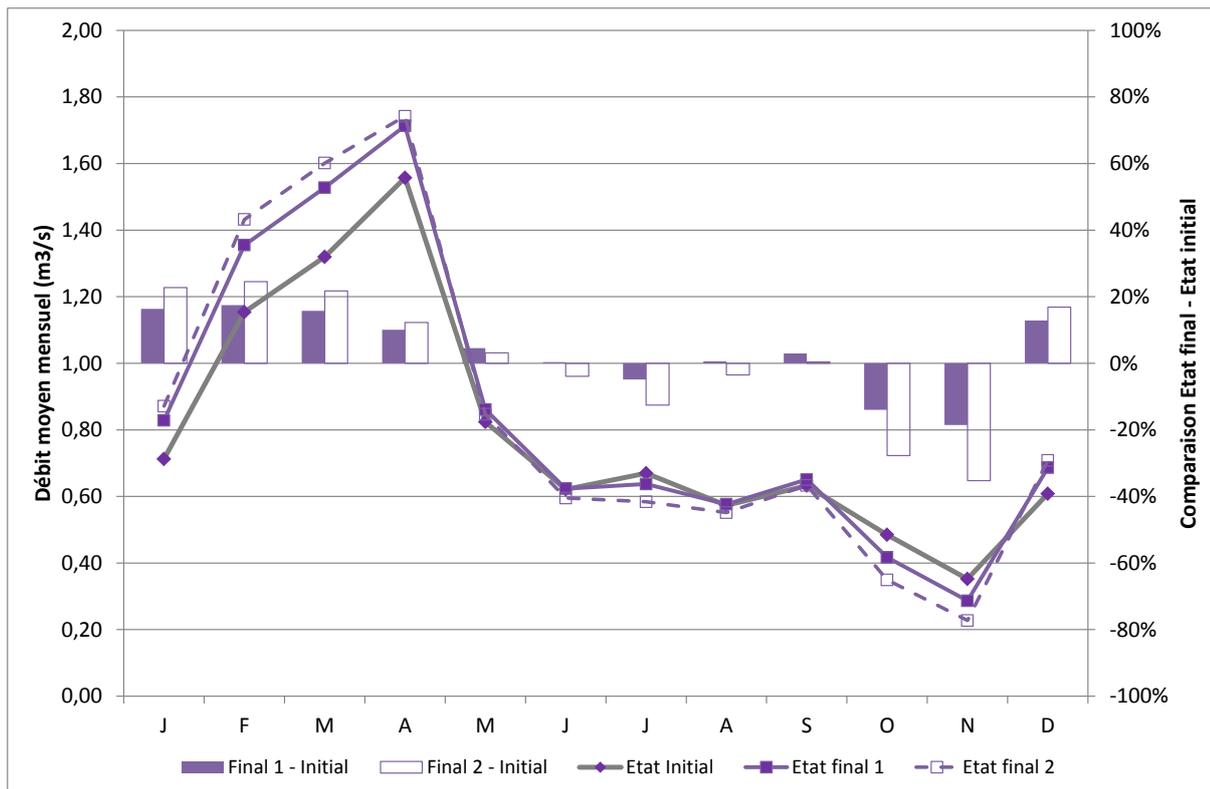


Figure 18 : Comparaison État final – État initial – Kwé Nord

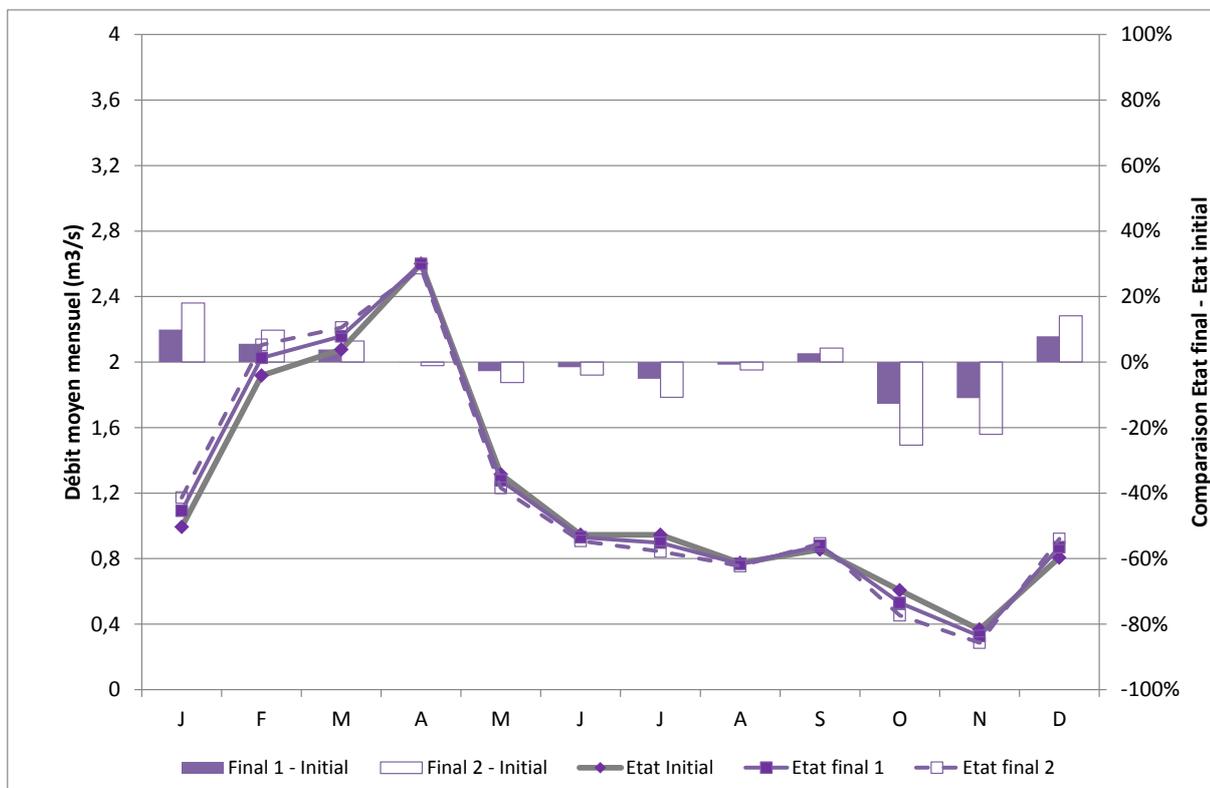


Figure 19 : Comparaison État final – État initial – Kwé Ouest

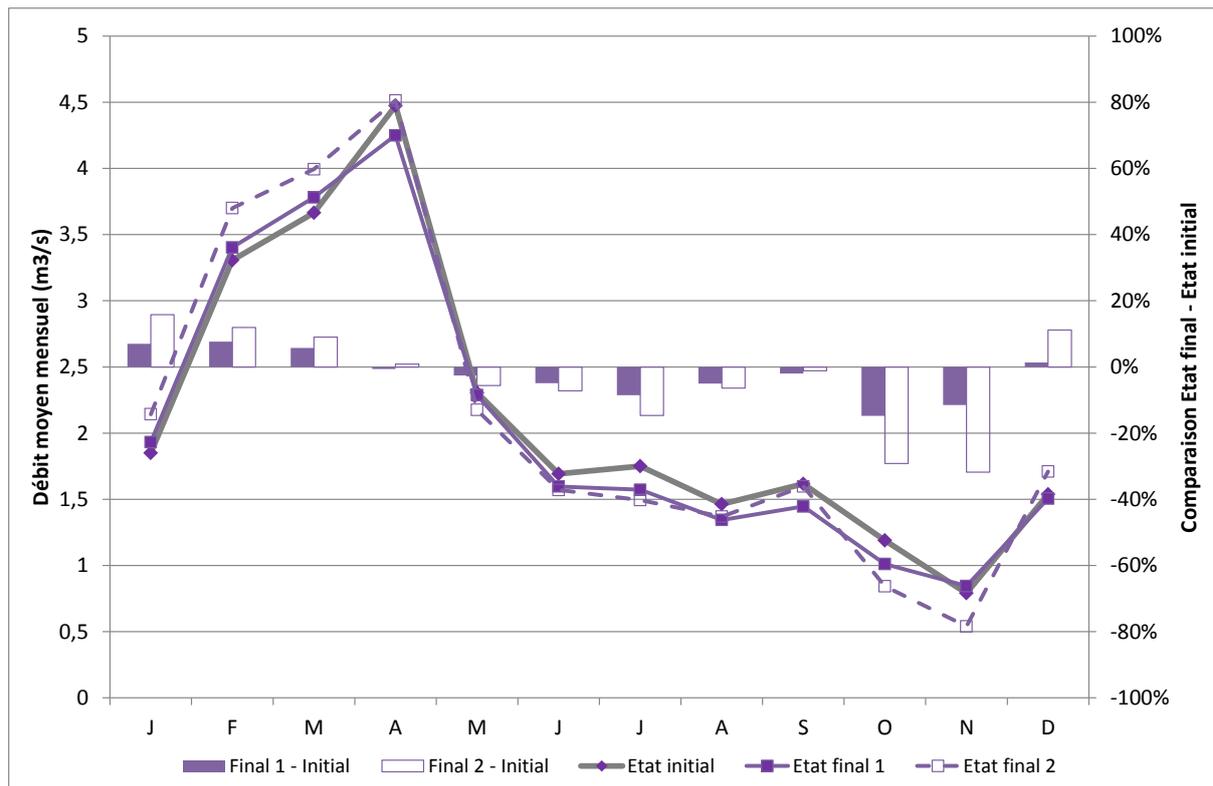


Figure 20 : Comparaison État final – État initial – Kwé principale

L'application de ces deux modèles d'évaluation des impacts sur les eaux de surface permet d'appréhender la sensibilité de la réponse des écoulements de surface à la fin de la période d'exploitation. De manière générale, la prise en compte des résultats des modèles hydrogéologiques engendre de plus fortes amplitudes saisonnières sur les écoulements par rapport au niveau initial comparativement à l'approche basée sur la prise en compte des surfaces anthropisées.

Une synthèse des perturbations potentiellement attendues sur le régime hydrologique de la rivière Kwé et de ses affluents est présentée à la partie 8.2 du présent document.

8.1.3. Perturbations sur les crues

La formation des crues sur les sous bassins de la Kwé va être largement modifiée par l'anthropisation des sols. L'analyse des impacts sur les crues présentée ici est focalisée sur les débits de pointe de crue et non sur la répartition du volume d'eau ruisselée au cours de chaque épisode de crue.

Pour l'estimation des débits de pointe de crue des bassins versants non jaugés, VNC utilise la formule rationnelle. Cette méthode est fondée sur la proportionnalité et la linéarité de la transformation pluie-débit, exprimées par la relation suivante :

$$Q_n = 0.278 \times C_n \times I_n \times A$$

Avec :

- n : la période de retour (probabilité d'occurrence) retenue pour le calcul ;
- Q_n : le débit de pointe pour la période n (m^3/s) ;
- C_n : le coefficient de ruissellement de pointe pour la période n ;
- I_n : l'intensité (mm/h) des précipitations pour la période de retour n , lue sur la courbe IDF correspondante en considérant une durée égale au temps de concentration du bassin versant ;
- A : la superficie du bassin versant en km^2 .

Cette méthode est bien adaptée aux bassins de petites tailles, dont la superficie n'excède pas 20 km^2 . Les difficultés associées à l'application de cette méthode sont l'évaluation de l'intensité des précipitations I_n et du coefficient de ruissellement de pointe C_n .

De nombreux auteurs ont montré que le meilleur choix pour la durée de précipitation moyenne utilisée dans la méthode correspond au temps de concentration du bassin versant. La littérature présente un nombre certain de formulations pour l'estimation du temps de concentration dont les résultats varient fortement d'une méthode à l'autre.

Parmi les méthodes d'évaluation de ce temps de concentration, on peut citer la formule de Giandotti, dont l'expression est la suivante :

$$T_c(\text{minutes}) = 60 \times \frac{1.5 \times L + 4\sqrt{A}}{0.8\sqrt{H}}$$

Avec :

- A : la superficie du bassin versant en Km^2 ;
- L : la longueur du parcours hydraulique le plus long (km) ;
- H : différence de l'altitude moyenne du bassin et celle de l'exutoire (m).

Pour l'estimation des débits de crue à l'état initial, il reste maintenant à évaluer les coefficients de ruissellement de pointe de chaque bassin versant pour les 3 périodes de retour considérées (2, 10 et 100 ans). L'état initial des eaux de surface fait l'objet de l'un des chapitres de ce livret, une analyse fréquentielle des débits de pointe de crues observées sur le bassin de la Kwé y est présentée. Les résultats issus de cette analyse fréquentielle ont montré une certaine cohérence avec les débits de crues des bassins versants au voisinage du site de Goro. Aussi, on propose ici de caler les coefficients de ruissellement C_n à l'aide des résultats issus de cette analyse fréquentielle. Pour les bassins versants à l'état initial, on trouve ainsi :

- pour les crues courantes, de période de retour 2 ans, $C_{2 \text{ ans}} = 0,4$;
- pour les crues rares, de période de retour 10 ans, $C_{10 \text{ ans}} = 0,5$;
- pour les crues exceptionnelles, de période de retour 100 ans, $C_{100 \text{ ans}} = 0,6$.

On rappelle au lecteur que ce coefficient de ruissellement n'est pas un coefficient classique établi sur un volume de ruissellement mais un coefficient retraduisant la linéarité et la proportionnalité entre une intensité de pluie (établie sur le temps de concentration) et un débit de pointe de crue.

L'estimation des débits de pointe de crue des trois branches Nord, Ouest et Est de la Kwé ainsi que du bassin versant dans sa totalité à l'état initial est fournie dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Estimation des débits de crue du bassin de la Kwé à l'état initial

	S km ²	L km	H m	Tc min	Q ₂ m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s
Kwé Nord	10,89	4,3	152,5	119	56	119	197
Kwé Ouest	18,1	8,3	240	143	90	190	314
Kwé Est	2,25	3	132,5	68	15	27	45
Kwé principale	31,14	8,6	242,5	170	146	258	440

Un coefficient de ruissellement de pointe égal à 1 a été retenu pour les surfaces anthropisées quelle que soit la période de retour considérée. Il s'agit d'une approche conservatrice qui maximise les effets induits par l'imperméabilisation des sols. Un coefficient de ruissellement composite est alors calculé proportionnellement aux surfaces anthropisées et naturelles. Le coefficient de ruissellement de pointe mixte est calculé de la manière suivante :

$$C_{nSA} = \frac{C_n \times (S_{TOT} - S_A) + S_A}{S_{TOT}}$$

Avec :

- C_{nSA} : le coefficient de ruissellement de pointe pour la période n tenant compte de la surface anthropisée du bassin versant ;
- C_n : le coefficient de ruissellement de pointe pour la période n dont les valeurs ont été ajustées en fonction des résultats de l'analyse fréquentielle des crues aux stations de jaugeage du site (Kwé Nord et Kwé Principale) ;
- S_A et S_{TOT} : la surface anthropisée et la surface totale de chaque bassin versant considéré.

Les résultats de l'évaluation des crues tenant compte de l'anthropisation des sols et de l'évolution de la superficie des bassins versants de la Kwé pour l'état actuel (2013 et en fin d'exploitation (2036)) sont présentés dans le Tableau 10. La comparaison de ces débits de crue avec l'état initial est présentée dans le

Tableau 11.

Tableau 10 : Évolution des débits de crue entre l'état actuel et l'état final

Etat actuel (2013)					
Bassin versant	S _{BV} (ha)	Tc (min)	Q ₂ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
Kwé Est	203	66	18	28	44
Kwé Nord	1088	119	69	114	186
Kwé Ouest	1683	140	110	179	287
Kwé Principale	2974	167	180	293	474

Etat final					
Bassin versant	S _{BV} (ha)	Tc (min)	Q ₂ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
Kwé Est	132	59	12	19	29

Kwé Nord	1163	122	121	177	261
Kwé Ouest	1823	143	167	249	373
Kwé Principale	3114	170	277	411	614

Tableau 11 : Comparaison de l'évolution des pointes de crues avec l'état initial

Etat actuel (2013) - Etat initial			
Bassin versant	T = 2 ans	T = 10 ans	T = 100 ans
Kwé Est	14%	7%	1%
Kwé Nord	23%	15%	10%
Kwé Ouest	23%	14%	7%
Kwé Principale	23%	14%	8%

Etat final - Etat initial			
Bassin versant	T = 2 ans	T = 10 ans	T = 100 ans
Kwé Est	-24%	-29%	-21%
Kwé Nord	114%	78%	27%
Kwé Ouest	86%	58%	21%
Kwé Principale	89%	59%	21%

Selon cette évaluation, la comparaison entre les débits de pointe à l'état initial et aux différents horizons temporels considérés dans cette analyse montre :

En 2013, les modifications des débits de crue restent modérées :

- les débits de pointe des crues courantes (T=2 ans) ont été intensifiés de 14 à 23% ;
- les débits de pointe des crues rares (T=10 ans) ont été intensifiés de 7 à 15% ;
- les débits de pointe des crues exceptionnelles (T=100 ans) ont été intensifiés de 1 à 10%.

En 2036, à la fin de la période d'exploitation les modifications des débits de crue s'accroissent légèrement :

- les débits de pointe des crues courantes (T=2 ans) seront diminués de 24% sur la Kwé Est, alors qu'ils seront augmentés de 86 à 114% sur les autres branches de la Kwé ;
- les débits de pointe des crues rares (T=10 ans) seront diminués de 29% sur la Kwé Est, alors qu'ils seront augmentés de 58 à 79% sur les autres branches de la Kwé ;
- les débits de pointe des crues exceptionnelles (T=100 ans) seront diminués de 21% sur la Kwé Est, alors qu'ils seront augmentés de 21 à 27% sur les autres branches de la Kwé.

Ces résultats montrent que l'intensification des débits de crue est la plus prononcée sur les crues courantes. C'est le bassin de la Kwé Nord qui présente le plus d'impacts sur les crues, alors qu'il possède un taux d'anthropisation plus important. Les effets attendus sur les débits de pointe de la

Kwé Ouest et la Kwé Principale sont non négligeables également. Sur la Kwé Est, les crues seront réduites, du fait de la diminution de superficie du bassin versant.

Une approche conservatrice a été utilisée ici pour avoir une estimation quantitative des effets induits par le projet minier sur les crues. Cependant, ces estimations sont à prendre avec beaucoup de précaution car de nombreuses hypothèses simplificatrices ont été formulées. En effet, le fait de considérer que l'ensemble des surfaces anthropisées ont un coefficient de ruissellement de pointe d'une valeur de 1 constitue une hypothèse forte, seules des données d'observations permettraient de le confirmer ou non.

Afin d'améliorer la connaissance et affiner l'évaluation des effets du projet minier sur les crues, en complément de ce qui vient d'être présenté ci-dessus, la prochaine analyse de l'impact sur les crues devra non seulement tenir compte du planning de revégétalisation du site de Goro mais aussi être complétée avec les éléments suivants :

- analyse des volumes de ruissellement ;
- prise en compte des conditions antérieures d'humidité des sols ;
- analyse de l'évolution de la formation des écoulements en crue ;
- prise en compte de mesures in situ pour une meilleure évaluation des coefficients de ruissellement.

Le principal impact attendu dans le cas de l'augmentation du ruissellement concerne l'augmentation potentielle du transport des particules fines dans les cours d'eau. Les bassins de sédimentation implantés à proximité des sources de production constituent une mesure d'atténuation de cet effet.

8.2. SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION DES PERTURBATIONS HYDROLOGIQUES POTENTIELLES

Les perturbations hydrologiques potentielles induites par le projet minier peuvent être regroupées selon les 3 catégories suivantes :

- une baisse ou une augmentation du module des rivières (débit moyen interannuel) due à des modifications sur la superficie des bassins versants topographiques. C'est le cas pour la rivière Kwé Nord et Kwé Est ;
- une modification du fonctionnement hydrologique saisonnier des rivières (c'est-à-dire du régime hydrologique) due à l'anthropisation des bassins versants. L'ensemble des aménagements miniers (verses à stérile, parc à résidus, carrière, fosse minière) vont contribuer à limiter l'infiltration naturelle des eaux de pluie et à convertir ces volumes d'eau en ruissellement. C'est le cas pour l'ensemble des affluents de la Kwé (Kwé Nord, Kwé Est et Kwé Ouest) ;
- des phénomènes d'assèchement sur tout ou partie des tronçons de rivière en raison d'une déconnexion avec les nappes d'eaux souterraines induite par le drainage de ces nappes par la fosse minière ou la diminution de la recharge de ces nappes liée à l'anthropisation des bassins versants (baisse de l'infiltration des eaux de pluie). C'est le cas pour l'ensemble des affluents de la Kwé.

À l'issue de l'ensemble des analyses techniques mises en œuvre dans le cadre de cette étude d'impact, l'évaluation de la grandeur de ces perturbations hydrologiques potentielles après 25 années d'exploitation minière est la suivante :

- le fonctionnement hydrologique de la Kwé Est sera fortement perturbé par l'exploitation minière. La baisse attendue sur le débit moyen interannuel est de l'ordre de 40%. Du fait d'une diminution de la contribution des eaux souterraines pouvant atteindre 70%, les débits moyens mensuels devraient baisser de 40% à plus de 60% en situation de basses eaux. En conséquence, le risque d'apparition de phénomènes d'assecs est jugé fort pour plus de 90% du linéaire de la rivière. En fin d'exploitation, en l'absence de mesure d'atténuation, il est considéré que seuls les 500 premiers mètres de la rivière conserveront des écoulements pérennes. En parallèle, une diminution des pointes de crue de l'ordre de 20 à 30% est également attendue après 25 ans d'exploitation ;
- le débit moyen interannuel de la Kwé Ouest ne devrait pas varier par rapport à la situation actuelle. En revanche, une modification du fonctionnement hydrologique de la rivière est attendue à l'échelle saisonnière. En situation de hautes eaux, une augmentation des débits moyens mensuels de l'ordre de 10 à 20% est attendue. En situation de basses eaux, la tendance s'inverse avec une diminution des débits mensuels qui sera de l'ordre de 20% en situation d'étiage. Cette perturbation est induite par une baisse de la contribution des eaux souterraines au fonctionnement de la rivière de l'ordre de 20% à 50%. En matière de crue, une forte augmentation des débits de pointe (plus de 60%) est attendue pour les crues de saisons jusqu'aux crues décennales. Pour les événements rares (période de retour de 100 ans), cette augmentation est modérée (de l'ordre de 20%) ;
- à l'échelle interannuelle, le débit moyen de la Kwé Nord devrait connaître une augmentation de l'ordre de 7%. Néanmoins, à l'échelle saisonnière, le fonctionnement

hydrologique de la rivière sera significativement perturbé par l'exploitation minière. Il est prévu une augmentation significative du ruissellement au détriment du débit d'origine souterraine. Cela devrait se traduire par une augmentation des débits moyens mensuels de l'ordre de 20% en situation de hautes eaux et une diminution de l'ordre de 20 à 40% en situation de basses eaux. Cette perturbation est induite par une baisse de la contribution des eaux souterraines au fonctionnement de la rivière de l'ordre de 40% à 50%. En conséquence, le risque d'une augmentation des phénomènes d'assèchement sur certains tronçons de rivière est jugé fort en situation de basses eaux. La proportion de tronçons qui devraient conserver un écoulement permanent passe de 69 % en situation naturelle à 49 % après 25 ans d'exploitation. Par ailleurs, 26 % du réseau sera détruit par la fosse minière. En matière de crue, une forte augmentation des débits de pointe est attendue pour les crues saisonnières (de l'ordre de 110 %) et les crues décennales (de l'ordre de 80 %). Cette augmentation est modérée pour les crues plus rares (de l'ordre de 30 %)

- la Kwé principale va hériter des perturbations de ses 2 principaux affluents (la Kwé Ouest et la Kwé Nord). Globalement, le débit moyen interannuel de la Kwé Principale devrait rester stable par rapport à la situation naturelle. À l'échelle saisonnière, il est attendu une augmentation des débits moyens mensuels de l'ordre de 20 % en situation de hautes eaux et une baisse des débits moyens mensuels de l'ordre de 20 % à 40 % en situation de basses eaux. En matière de crue, une forte augmentation des débits de pointe est attendue pour les crues saisonnières (de l'ordre de 90 %) et les crues décennales (de l'ordre de 60%). Cette augmentation est modérée pour les crues plus rares (de l'ordre de 20 %) ;
- pour les autres rivières (Wadjana, Kué Binyi, Truu, rivière du secteur de Port Boisé, Kaori, Kadji, plaine des lacs), les perturbations hydrologiques potentiellement attendues sont faibles voire non significatives.

Les grandeurs des perturbations induites par le projet minier sur les eaux de surface sont indiquées dans le Tableau 12 pour chaque affluent du bassin de la Kwé.

Tableau 12 : Caractérisation de la grandeur de la perturbation

Bassin	Nature de la perturbation	Etat à la fin de la période
--------	---------------------------	-----------------------------

	versant		d'exploitation
Modification du régime hydrologique	Kwé Est	Diminution des débits de hautes et basses eaux	Forte
		Diminution du débit moyen interannuel	Forte
	Kwé Ouest	Augmentation des débits de hautes eaux	faible
		Diminution des débits de basses eaux	Faible à moyenne
		Maintien du débit moyen interannuel	Non significatif
	Kwé Nord	Augmentation des débits de hautes eaux	Faible à moyenne
		Diminution des débits de basses eaux	Faible à moyenne
		Augmentation du débit moyen interannuel	Faible
	Kwé principale	Augmentation des débits de hautes eaux	Faible
		Diminution des débits de basses eaux	Faible à moyenne
		Maintien du débit moyen interannuel	Non significatif
Modification des pointes de crues	Kwé Est	Diminution des débits de crues (T=2 ans)	Moyenne
		Diminution des débits de crues (T=10 ans)	Moyenne
		Diminution des débits de crues (T=100 ans)	Moyenne
	Kwé Ouest	Intensification des débits de crue (T=2 ans)	Forte
		Intensification des débits de crue (T=10 ans)	Forte
		Intensification des débits de crue (T=100 ans)	Moyenne
	Kwé Nord	Intensification des débits de crue (T=2 ans)	Forte
		Intensification des débits de crue (T=10 ans)	Forte
		Intensification des débits de crue (T=100 ans)	Moyenne
	Kwé principale	Intensification des débits de crue (T=2 ans)	Forte
		Intensification des débits de crue (T=10 ans)	Forte
		Intensification des débits de crue (T=100 ans)	Moyenne

L'ensemble des analyses réalisées dans le cadre de cette étude d'impact ne tiennent pas compte des effets associés aux projets de réhabilitation et de revégétalisation du site au cours de la période d'exploitation. Les perturbations hydrologiques présentées ici représentent donc une enveloppe maximale des effets associés à l'anthropisation du site.