

**République du Cameroun**  
*Paix – Travail – Patrie*

**Ministère des Mines, des Industries  
et du Développement Technologique**

Projet de Renforcement des Capacités dans le Secteur Minier  
(PRECASEM)

**Diagnostic par Télédétection, des Impacts Environnementaux des  
Exploitations Artisanales et Artisanales semi Mécanisées et  
l’Etablissement des Recommandations pour la Réhabilitation des  
Sites**

N° de Référence : WB-P448559-12/19  
CM-PRECASEM-101347-CS-CQS

**L5 - RAPPORT FINAL**



**PRECASEM**  
B.P. 35491 Yaoundé (Cameroun)  
TEL: (237) 22 2 2172 05 / +237 679 70 13 92  
gsmananga@yahoo.fr; cardexo@yahoo.fr  
www.precasem.cm



**Beak Consultants GmbH**  
Am St. Niclas Schacht 13  
09599 Freiberg / Allemagne  
Tél +49 (0) 3731 781350  
Fax +49 (0) 3731 781352  
www.beak.de  
postmaster@beak.de

N° de projet Beak: 2020\_0014

Freiberg, le 19/11/2021



## Données du projet

### Général

<b>Type de document:</b>		Rapport Final	
<b>Titre :</b>		Diagnostic par Télédétection, des Impacts Environnementaux des Exploitations Artisanales et Artisanales semi mécanisées et l'Etablissement des Recommandations pour la Réhabilitation des Sites	
<b>Période d'élaboration :</b>		Octobre - novembre 2021	
<b>Texte:</b>	186 pages	<b>Appendices:</b>	18
		<b>Cartes:</b>	18
<b>Client / Destinataire :</b>		S/C MINISTERE DE L'INDUSTRIE, DES MINES ET DU DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE Coordination du PRECASEM M. le Coordonnateur du PRECASEM, Guillaume Sosthène Mananga B.P. 35491 Yaoundé (Cameroun) TEL: (237) 22 2 2172 05 / +237 679 70 13 92 gsmananga@yahoo.fr; cardexo@yahoo.fr	
<b>N° de projet Beak:</b>		2020_0014	<b>N° de projet Client:</b> WB-P448559-12/19 ; P122153

### Auteurs

Nom	Qualification	Chapitres	Date	Signature
BARTH, Andreas	PhD géochimie	tous	19/11/2021	
BOCK, Peter	MSc géologie	tous	19/11/2021	
HANELLI, Delira	MSc géoinformatique	2, 4, 5	19/11/2021	
ZYLBERMAN, William	PhD géophysique	5 et annexes	19/11/2021	
REPPER, Cornelia	Cartographe	4 et annexes	19/11/2021	
THÜMER, Nicole	Géologue	3, 4, 7	19/11/2021	
LECLERCQ, Grégoire	Stagiaire, étudiant ingénieur en géosciences environnement	1, 3, 4 et annexes	19/11/2021	

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 2
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

**Assurance de qualité**

Nom	Qualification	Chapitre	Date	Signature
ZINGELMANN, Markus	MSc géologie	tous	19/11/2021	

**Transmis à**

Entreprise / Autorité	Copie papier	Copie électronique
MINMIDT / PRECASEM	6	1
Beak Consultants GmbH	0	1

**Versions**

Version	Date	Etat	Nom du fichier	Auteurs
1.0	19/11/2021	autorisé	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.docx	Barth, Bock, Hanelli, Repper, Zylberman, Leclercq, Thümer

**Beak Consultants GmbH**  
Am St. Nicolas Schacht 13  
09599 Freiberg  
Tel.: 03731 781-350  
Fax: 03731 781-352

A. Barth, Directeur Général Beak Consultants GmbH

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 3
	Autorisé	x 1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>18</b>
1.1	CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE.....	18
1.2	LA ZONE D'ÉTUDE.....	20
<b>2</b>	<b>APPROCHE ET METHODOLOGIE DU PROJET .....</b>	<b>21</b>
2.1	CHRONOGRAMME DES ACTIVITÉS .....	21
2.2	DONNÉES FOURNIES PAR LE PRECASEM .....	22
2.3	DONNEES RECHERCHEES ET ORGANISEES PAR LE CONSULTANT .....	23
2.4	MÉTHODOLOGIE DE TÉLÉDÉTECTION .....	23
2.4.1	Aperçu.....	23
2.4.2	Imagerie Sentinel-2.....	25
2.4.3	Imagerie Landsat-7 .....	26
2.4.4	Couverture nuageuse .....	26
2.4.5	Téléchargement des données .....	27
2.4.5.1	Imagerie acquise pour décembre 2019.....	27
2.4.5.2	Imagerie acquise pour décembre 2015.....	27
2.4.5.3	Imagerie acquise entre décembre 2000 et 2010.....	27
2.4.6	Traitements .....	29
2.4.6.1	Correction atmosphérique .....	29
2.4.6.2	Mosaïquage.....	30
2.5	CRÉATION DES CARTES FACTUELLES.....	30
2.5.1	Cartographie semi-automatique des sites miniers .....	30
2.5.1.1	Méthodologie basée sur les données Sentinel-2 .....	30
2.5.2	Basemaps <i>Planet</i> pour la validation du modèle .....	38
2.5.3	Cartes finales des sites miniers .....	40
2.6	CRÉATION DES CARTES THÉMATIQUES .....	41
2.6.1	Pré-traitement de l'imagerie satellite .....	41

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 4
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



2.6.2	Création des cartes environnementales .....	43
2.6.2.1	Identification des masses d'eau de surface.....	43
2.6.2.2	Qualité des eaux de surface.....	45
2.6.2.2.1	Introduction .....	45
2.6.2.2.2	Turbidité .....	47
2.6.2.2.3	Total des Solides en Suspension (TSS).....	54
2.6.2.2.4	Chlorophylle-A (Chl-A).....	55
2.6.2.2.5	pH .....	57
2.6.2.2.6	Oxygène Dissous (OD).....	58
2.6.3	Cartographie des zones de l'occupation des terres .....	60
2.6.3.1	Cartographie de l'occupation des terres basée sur les Basemaps Sentinel-2.....	62
2.6.3.2	Cartographie de la couverture végétale basée sur les basemaps Landsat-7.....	63
2.6.3.3	Collecte des données d'apprentissage .....	63
2.6.3.4	Résultat de la classification et importance des variables.....	65
<b>3</b>	<b>TRAVAIL DE TERRAIN .....</b>	<b>70</b>
3.1	OBJECTIFS .....	70
3.2	PARTICIPANTS .....	71
3.3	RESUME DES SITES VISITES ET DES OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN .....	72
<b>4</b>	<b>OBSERVATIONS ET RÉSULTATS .....</b>	<b>107</b>
4.1	TYPES DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LA ZONE D'ETUDE.....	107
4.2	EVOLUTION DES TYPES DE L'OCCUPATION DES TERRES .....	109
4.2.1	Conversion en zone minière .....	113
4.2.4	Exemples régionaux .....	119
<b>5</b>	<b>SYNTHÈSE ET DISCUSSION .....</b>	<b>123</b>
5.1	TECHNOLOGIE MINIERE ET DOMMAGES ENVIRONNEMENTAUX ASSOCIES .....	123
5.1.1	Exploitation alluvionnaire .....	123
5.1.1.1	Exploitation minière artisanale manuelle des alluvions.....	123
5.1.1.2	Exploitation alluvionnaire artisanale semi-mécanisée.....	124

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 5
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



5.1.1.3	Dragage dans les lits de rivière .....	130
5.1.1.4	Exploitation des graviers des anciennes terrasses .....	131
5.1.2	Exploitation de l'or à partir des roches primaires.....	133
5.1.2.1	Exploitation artisanale sélective de l'or filonien .....	133
5.1.2.2	Exploitation des zones d'altération des roches aurifères par des companies mécanisées .....	135
5.1.2.3	Traitement des roches avec des cyanures.....	141
5.2	CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES .....	142
5.2.1	Eaux de surface .....	142
5.2.2	Eaux souterraines .....	151
5.2.3	Les sols.....	153
5.2.4	La Couverture forestière .....	156
5.2.5	L'air .....	157
5.2.6	Agriculture.....	158
5.2.6.1	Terres cultivées .....	158
5.2.6.2	Problèmes de pâturages .....	159
5.3	CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES .....	161
5.4	PROBLÉMATIQUE DE L'EMPREINTE CARBONE .....	163
5.4.1	CO <sub>2</sub> émis pendant et après les opérations minières en raison de la décomposition de la biomasse .....	164
5.4.2	Quantité de CO <sub>2</sub> restant dans l'atmosphère et non captée en raison de l'absence de forêt.....	165
5.4.3	L'influence du prix du CO <sub>2</sub> sur l'économie de l'exploitation .....	165
5.5	EXTENSION POTENTIELLE DES IMPACTS MINIERES EN L' ABSENCE DE RESTRICTIONS .....	166
5.6	PATRIMOINE NATUREL .....	168
5.7	CONFLITS ET PROTECTION DE LA NATURE .....	168
5.8	ZONES À PROTÉGER.....	168
5.9	MESURES PROPOSEES POUR LES ACTIONS FUTURES .....	170

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 6
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



5.9.1	Réduction / Atténuation des effets négatifs des activités minières actuelles et futures .....	170
5.9.2	Surveillance des sites miniers .....	171
5.9.3	Mesures institutionnelles .....	171
5.9.4	Gestion des données / technologie de l'information .....	172
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>173</b>
6.1	CONCLUSIONS .....	173
6.2	RECOMMANDATIONS .....	175
<b>7</b>	<b>DONNÉES TRANSMISES AU CLIENT .....</b>	<b>177</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>183</b>

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 7
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## Table des illustrations

Figure 1	Zone choisie pour l'étude de télédétection .....	21
Figure 2	Chronogramme des activités .....	22
Figure 3	Identification des carrés de grille Sentinel-2 couvrant la zone d'étude.....	25
Figure 4	Identification des carreaux de la grille Landsat-7 couvrant la zone d'étude .....	26
Figure 5	Jeux de données en mosaïque d'images satellitaires Landsat et Sentinel-2 acquises en décembre 2002, 2015 et 2019.....	30
Figure 6	Collecte des données contrôlant les caractéristiques à modéliser.....	31
Figure 7	Aperçu schématique de la technique mise en oeuvre pour la cartographie prédictive semi-automatique des sites miniers .....	33
Figure 8	i) Évaluation de l'erreur quadratique moyenne, ii) Histogramme des données d'apprentissage, et iii) Analyse de la pondération des paramètres de contrôle. ....	35
Figure 9	Carte de distribution advangeo® pour le scénario d'apprentissage .....	36
Figure 10	Extrait de la carte des sites miniers identifiés sur toute la zone d'étude issue du RNA entraîné avec le logiciel advangeo® .....	37
Figure 11	Affinement du résultat de la cartographie advangeo®. ....	38
Figure 12	Jeux de données mosaïque de Planet Basemap pour la saison sèche en 2015 et 2019 .....	39
Figure 13	Cartes finales des sites miniers identifiés pour 2015 et 2019. ....	40
Figure 14	Surface d'eau extraite pour la zone du barrage de Lom - Pangar pour chaque basemap. ....	43
Figure 15	Superficie des eaux de surface extraite d'une section de la rivière Kadeï pour chaque basemap.....	44
Figure 16	Superficie des eaux de surface extraites d'une section de la rivière Lom pour chaque basemap.....	44
Figure 17	Indice de turbidité à proximité de Betare Oya pour chaque basemap. Les couleurs rouge-vert représentent des valeurs de turbidité forte à faible, respectivement.....	49
Figure 18	Indice de turbidité dans les rivières Doumé et Kadeï pour les années 2002, 2015 et 2019. ....	50
Figure 19	Analyse des changements de l'indice de turbidité. Les couleurs bleu-jaune représentent des valeurs de turbidité hautes à basses respectivement.....	51

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 8
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 20	Indice de turbidité dans le Lom à l'embouchure de la rivière Fel à l'est de Meiganga en 2019; a) Image RVB, b) Indice de turbidité des eaux de surface. ....	52
Figure 21	Indice de turbidité dans le Lom à l'est de Meiganga en 2019; a) Image RVB, b) Indice de turbidité des eaux de surface. ....	53
Figure 22	Relation entre la turbidité et le total des solides en suspension - TSS.....	54
Figure 23	TSS dans trois zones différentes (2019). ....	55
Figure 24	Indice de chlorophylle-A dans le Lom à l'embouchure de la rivière Fel en 2019; a) Image RVB, b) Indice de chlorophylle-A des eaux de surface. ....	56
Figure 25	Interprétation du pH dans trois zones différentes pour la Basemap 2019. a) Barrage de Lom-Pangar, b) zone de Ngoura avec la Kadeï en aval de Colomines, c) zone amont de la Kadeï.....	58
Figure 26	Aperçu schématique de l'OD dans trois zones différentes pour la Basemap 2019. a) Barrage de Lom-Pangar, b) zone amont de la Kadeï, c) zone du village Doumba avec les rivières Bongone (« recovering stream ») et Limboka (« active mine site »).....	60
Figure 27	Pondération des variables pour la classification de l'occupation des terres pour la Basemap 2002, en utilisant l'imagerie Landsat-7 .....	68
Figure 28	Pondération des variables pour la classification de l'occupation des terres pour la Basemap 2015, en utilisant l'imagerie Sentinel-2 .....	68
Figure 29	Pondération des variables pour la classification de l'occupation des terres pour la Basemap 2019, en utilisant l'imagerie Sentinel-2 .....	69
Figure 30	Travaux des experts du consultant, du PRECASEM et du personnel de soutien du côté du CAPAM à Colomines (MS-CM25).....	71
Figure 31	Localisation des arrêts initialement planifiés (jaune) et réalisés (bleu) .....	73
Figure 32	Zone de forêt dense avec plantation de babaniers au SW de Batouri (à gauche) et au sud de Batouri (à droite, site de Doumbekwaké, MS-CM16) .....	107
Figure 33	Savane arborée en bordure de la Kadeï au sud de Colomines ; à gauche : <i>Bridelia fenginea</i> , à droite : <i>Annona senegalensis</i> (MS-CM31).....	108
Figure 34	Agriculture dans la zone. A gauche : Champs de maïs à Dem, à l'est de Batouri ; à droite : Champs de manioc dans la savane arborée de Bétaré Oya (11/2013).....	108
Figure 35	Paysage minier abandonné au sud de Colomines (MS-CM28) .....	108
Figure 36	Plaine alluviale de la rivière du Gambadi à Colomines, exploitée de 2011 à 2017 de manière artisanale et semi-mécanisée; premier retablisement des herbes et des arbustes (MS-CM30).....	109
Figure 37	Types de l'occupation des terres dans les époques 2002, 2015 et 2019.....	110

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 9
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 38	Représentation graphique des tendances évolutives des différents types de l'occupation / utilisation des terres par rapport à l'époque de référence (2002).....	112
Figure 39	Conversion des types d'occupation des terres en zone minière entre 2002 et 2015 .....	114
Figure 40	Conversion des types d'occupation des terres en zone minière entre 2015 et 2019 .....	114
Figure 41	Conversion des types d'occupation des terres en zone forestière entre 2015 et 2019 .....	116
Figure 42	Conversion des types d'occupation des terres en zone forestière entre 2015 et 2019 .....	116
Figure 43	Conversion des types d'occupation des terres en zone urbaine entre 2002 et 2015 .....	118
Figure 44	Conversion des types d'occupation des terres en zone urbaine entre 2015 et 2019 .....	118
Figure 45	Évolution des types de l'occupation des terres pour une zone sélectionnée à l'ouest de Bétaré Oya.....	119
Figure 46	Evolution des types de l'occupation des terres pour la zone de Colomines.....	120
Figure 47	Exemple de croissance forestière, passant de végétation basse à forêt ; zone de Bambouti.....	121
Figure 48	Exemple de variations phénologiques et de changements dans l'occupation des terres, de la savane à la basse végétation ; zone au nord de Nyabi.....	122
Figure 49	à gauche : site d'exploitation alluvionnaire « Derrière l'Ecole » à Colomines (MS-CM24) ; à droite : Batés et sluices sur un site minier alluvionnaire, affluent du Mbil à l'Est de Kambele, en 2014 .....	124
Figure 50	Préparation de l'exploitation alluvionnaire sémi-mécanisée: a) défrichage, b) déviation de la rivière dans un canal, c) enlèvement du sol, d) recouvrement empilé ; Opération de Metalicon S.A. à la rivière du Djongo, Kambele, 2013 [13].....	126
Figure 51	Le bedrock typique en dessous des alluvions est profondément altéré. Ici : granitoid complètement converti en matière argilleuse, provenant d'un puit de prospection au NW de Batouri. ....	126
Figure 52	à gauche : enlèvement du gravier et chargement sur le camion ; à droite : lavage à la sluice [13].....	127
Figure 53	Appareil de tamisage d'une compagnie chinoise exploitant un gravier d'une ancienne terrasse à la vallée du cours d'eau Bediri à Longamali au NE de Bétaré Oya (MS-CM39) .....	127
Figure 54	à gauche: profile sédimentaire typique dans les flats de la zone de Betaré Oya : gravier grossier de ca. 1 m d'épaisseur couvert par du sable et du silt argilleux. A droite: excavation du gravier de la rivière Nakoyo à Bétaré Oya par une	

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 10
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



	compagnie Chinoise en 2013. Lavage à l'intérieur du puit avec des stations mobiles.....	128
Figure 55	Deforestation pour l'aménagement des routes minières à Kambele [13].....	129
Figure 56	à gauche : déviation de la Kadeï ca. trois ans après exploitation (MS-CM31); à droite : paysage d'étangs après exploitation alluvionnaire dans la plaine du Djongo, Kambele [13].....	129
Figure 57	Pontons de dragage à la Kadeï au SE de Colomines (MS-CM31).....	131
Figure 58	Gravier d'une ancienne terrasse au bord de la vallée du Bediri à Longamali, au NE de Bétaré Oya (MS-CM39) .....	132
Figure 59	Le gravier est exploité par une société chinoise ne souhaitant pas indiquer son nom (MS-CM39).....	132
Figure 60	A gauche : terrasse exploitée au nord de la plaine de la rivière Mari (en arrière-fond); à droite : végétation arbustive s'installant sur le teruil, le gravier gravier reste dénudé (OP-CM62).....	133
Figure 61	à gauche : Site d'exploitation artisanale « Monaco » à Kambele (MS-CM07) ; à droite : image satellite des veines de quartz exploitées par les artisans miniers 1 km NNE de Woumbou (Google earth, mars 2020).....	134
Figure 62	à gauche : Exploitation artisanale souterraine d'une zone de stockwork altérée à Boukarou (Kambele III) en 2014 ; à droite : Concassage / broyage du matériel des veines de quartz, avec développement permanent des poussières.....	135
Figure 63	Carrière de Ling Xinrong dans des granitoïdes altérées 1,5 km WSW de Colomines; vue vers le sud (MS-CM26) .....	136
Figure 64	Vu vers l'ouest de la même carrière, exposant des excavations artisanales dans des roches altérées et faibles (MS -CM26) .....	137
Figure 65	Carrière de Bote dans la partie est de la zone de Kambele (MS-CM12) .....	137
Figure 66	Station de broyage et de lavage; à gauche : broyage des roches primaires à l'aide de roues métalliques tournant dans des bassins ; à droite : petit bassin de décantation, insuffisant pour empêcher la pénétration des boues dans la vallée du Mbil (OP-CM08). .....	138
Figure 67	Végétation inondée par les boues dans la rivière Amoscelain (OP-CM12).....	139
Figure 68	Les boues restent dans l'environnement et remplissent des dépressions ou des vallées. ....	139
Figure 69	à gauche : Terril de boues de traitement des roches dans la rivière du Djongo : à droite : forêt morte après dépôt des boues dans la vallée du Mbil, Kambele .....	140
Figure 70	limage satellite d'un site à l'ouest de Ngaranga en 2009 et en 2020. On observe l'exploitation dans le lit de la rivière Batong, et sur les plateaux. Les vallées sont complètement exploitées et les forêts de galeries avec de l'eau courante remplacées par une série de bassins d'eau. L'exploitation minière sur les	

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 11
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



	plateaux détruit de grandes zones, et rejette les résidus dans les vallées (MS-CM37). .....	140
Figure 71	la visite sur le terrain montre une carrière d'exploitation de l'or actuellement inactive. Elle est exploitée par une société chinoise, et est localisée dans un corps de roches métamorphiques (MS-CM37).....	141
Figure 72	Traitement des roches par les cyanures proche de Bétaré Oya .....	141
Figure 73	Turbidité des grandes rivières (bassins versants > 1000 km <sup>2</sup> ) .....	142
Figure 74	Turbidité en 2002 : le barrage du Lom-Pangar n'existe pas encore, l'eau de la rivière est envasée selon les conditions naturelles. De petites zones d'exploitation alluvionnaires sont visibles dans les affluents du Lom. ....	144
Figure 75	Turbidité en 2015: le barrage du Lom-Pangar commence à se remplir à partir du SW. L'eau de la rivière est fortement envasée ; de grandes zones minières peuvent être observées le long des bords de la rivière du Lom. De nombreux bassins d'eau fortement envasés sont visibles dans les affluents.....	145
Figure 76	Turbidité en 2019 : le barrage du Lom-Pangar est rempli, l'eau de la rivière est fortement envasée et les boues se déposent dans le barrage. Les grandes zones d'exploitation en bordure du Lom et dans la plupart de ses affluents ont été abandonnées et l'eau des étangs restant des mines devient plus claire. ....	146
Figure 77	Étangs subsistant de l'exploitation alluvionnaire dans la vallée du cours d'eau Mbil à Kambele ; image satellite de 2016. ....	147
Figure 78	Situation avant et après l'exploitation d'une petite rivière (schéma).....	148
Figure 79	Développement de l'exploitation minière dans la vallée du Mbil à Kambele. Au cours de quatre ans, le paysage originellement vierge de forêts et de zones humides où l'eau coulait est complètement détruit et remplacé par une série de bassins qui représente une grande surface d'eau libre. ....	150
Figure 80	Flux des eaux souterraines avant et après l'exploitation minière .....	151
Figure 81	Comparaison de la situation avant et après l'exploitation minière et de son influence sur la nappe phréatique.....	152
Figure 82	Plantation de manioc dans un paysage post-minier au NE de Bétaré Oya (OP-CM57) .....	153
Figure 83	Le gravier lavé sans fractions fines forme le "sol" post-exploitation. Exemple au NE de Bétaré Oya (OP-CM57) .....	155
Figure 84	Des Boues déversées dans une plaine alluviale. Elles recouvrent la végétation d'origine et forment une couverture imperméable à l'eau.....	155
Figure 85	Matériau du sol original riche en composants organiques par rapport aux déchets d'après mine; Longamali / Bétaré Oya (MS-CM39) .....	155
Figure 86	Réinstallation des premières herbes sur les boues ; rivière Amoscelain, Kambele, vue vers le SW (OP-CM10) .....	156

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 12
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 87	Carrière à Boukarou / Kambele, détruisant complètement la forêt et les plantations de cacaoyer, bananiers etc. dans la forêt (MS-CM06).....	157
Figure 88	Plantation de bananiers et de légumes dans le paysage de l'après-mine près de Bétaré Oya (OP-CM57) .....	158
Figure 89	Localisation des vallées détruites (en rouge) entravant la migration des troupeaux .....	160
Figure 90	Zones de potentiel aurifère .....	167
Figure 91	Végétation typique des marécages, à côté d'un site artisanal alluvionnaire (Dem, à l'Est de Batouri).....	169

## Table des tableaux

Tableau 1	Liste des images satellites Sentinel-2 téléchargées couvrant la zone d'étude.....	28
Tableau 2	Liste des images satellites Landsat-7 téléchargées couvrant la zone d'étude .....	29
Tableau 3	Comparaison des imageries satellite Landsat 7 et Sentinel-2.....	42
Tableau 4	Surface d'eau extraite pour chaque Basemap dans la zone d'étude .....	43
Tableau 5	Paramètres de qualité de l'eau pouvant être modélisés par des méthodes de télédétection, classés en paramètres physiques, chimiques et biologiques. TSS = Total des Solides en Suspension .....	45
Tableau 6	Paramètres de qualité de l'eau classés en paramètres optiquement actifs et non actifs.....	46
Tableau 7	Classes d'occupation et d'utilisation des terres utilisées pour la cartographie.....	61
Tableau 8	Indices spectraux, description et formule. ....	62
Tableau 9	Nombre et surface des objets d'apprentissage représentatifs de chaque classe d'occupation des terres.....	64
Tableau 10	Matrice de confusion pour la cartographie de l'occupation des terres, Basemap 2002. ....	66
Tableau 11	Matrice de confusion pour la cartographie de l'occupation des terres, Basemap 2015. ....	66
Tableau 12	Matrice de confusion pour la cartographie de l'occupation des terres, Basemap 2019. ....	67
Tableau 13	Sites visités sur le terrain .....	74
Tableau 14	Les types d'occupation des terres et leur évolution dans la zone d'étude .....	111

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 13
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Tableau 15	Conversion des différents types de l'occupation des terres vers des zones minières ( en km <sup>2</sup> ) .....	113
Tableau 16	Conversion des différents types de l'occupation des terres en zone forestière .....	115
Tableau 17	Conversion des types de l'occupation des terres en zone urbaine .....	117
Tableau 18	Estimation de la valeur de l'or pouvant être extrait de l'exploitation des placers par rapport à la consommation de terres .....	161
Tableau 19	Coût des terres agricoles .....	162
Tableau 20	Valeur du terrain s'il est utilisé pendant 20 ans pour la production de cacao.....	163

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 14
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## Table des Annexes

1. **Carte de l'occupation des terres en 2002 / Map of landuse in 2002**
2. **Carte de l'occupation des terres en 2015 / Map of landuse in 2015**
3. **Carte de l'occupation des terres en 2019 / Map of landuse in 2019**
4. **Carte de la qualité de l'eau (turbidité) en 2002 / Map of water quality (turbidity) in 2002**
5. **Carte de la qualité de l'eau (turbidité) en 2015 / Map of water quality (turbidity) in 2015**
6. **Carte de la qualité de l'eau (turbidité) en 2019 / Map of water quality (turbidity) in 2019**
7. **Carte des activités minières en 2002 (non alluvionnaire) / Map of mining activities en 2002 (in valleys, outside valleys)**
8. **Carte des activités minières en 2015 (alluvionnaire / non alluvionnaire) / Map of mining activities en 2015 (in valleys, outside valleys)**
9. **Carte des activités minières en 2019 (alluvionnaire / non alluvionnaire) / Map of mining activities en 2019 (in valleys, outside valleys)**
10. **Carte de la déforestation causée par l'exploitation minière en 2015 par rapport à 2002 / Map of mining caused deforestation 2015 compared to 2002**
11. **Carte de la déforestation causée par l'exploitation minière en 2019 par rapport à 2002 / Map of mining caused deforestation 2019 compared to 2002**
12. **Carte des vallées détruites en 2019 / Map of destroyed valleys in 2019**
13. **Carte de l' extension potentielle des impacts miniers en l' absence de restrictions / Map of possible future extension of mining impacts without restriction**
14. **Carte de l'énergie des reliefs / Map of relief energy**
15. **Carte des zones écologiquement vulnérables / Map of environmentally sensitive areas**
16. **Carte des conflits environnementaux / Map of environmental conflicts**
17. **Carte des zones de protection recommandées / Map of recommended protection areas**
18. **Carte d' Occupation des Terres 2019, de l' activité minière et des zones de protection proposées / Map of land use 2019, mining activity and proposed and proposed protection zones**

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 15
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## Liste des acronymes et abbréviations

ANN	Artificial Neural Networks – <i>Réseaux Neuronaux Artificiels (RNA)</i>
BI	Bare Soil Index – <i>Indice de sol dénudé</i>
BOA	Bottom-of-Atmosphere – <i>Bas de l’atmosphère</i>
CAPAM	The Artisan Mining Support and Promotion Framework / <i>Appui au Développement des Activités Minières, créé en 2003</i>
CCCI	Canopy Chlorophyll Content Index – <i>Indice de contenu en chlorophylle de la canopée, (strate supérieure de la forêt)</i>
Chl-A	Chlorophylle-A
DO	Dissolved Oxygen - <i>Oxygène dissous</i>
EPSG	European Petroleum Survey Group – <i>une organisation qui maintient une base de données de paramètres géodésiques avec des codes standard, les codes EPSG, pour les systèmes de coordonnées, les datums, les sphéroïdes, les unités, etc.</i>
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus - <i>L’instrument Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) est un radiomètre fixe à balayage multispectral à huit bandes, capable de fournir des informations d’imagerie à haute résolution de la surface de la Terre.</i>
Flats	<i>Terme d’origine anglais utilisé pour les marécages et les plaines alluviales faisant souvent l’objet de l’exploitation alluvionnaire</i>
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index - <i>Indice de végétation verte par différence normalisée</i>
MDNWI	Modified Normalized Difference Water Index – <i>Indice modifié de l’eau par différence normalisée</i>
MSE	Mean Square Error – <i>Erreur quadratique moyenne</i>
MSI	Multispectral Imagery – <i>Imagerie multispectrale</i>
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index – <i>Indice normalisé des différences de végétation (“Indice de verdure”)</i>
NDTI	Normalized Difference Turbidity Index – <i>Indice normalisé des différences de turbidité</i>
NICFI	Norway's International Climate and Forests Initiative – <i>Initiative internationale de la Norvège sur le climat et les forêts</i>
NIR	Near Infra-Red – <i>Proche infrarouge</i>

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 16
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Occurrence	Le terme <i>occurrence</i> est utilisé dans le présent rapport comme synonyme pour « indice minier ».
OLI	Operational Land Imagery – <i>Imagerie terrestre opérationnelle</i>
OSM	Open Street Map – <i>OpenStreetMap (OSM) est un projet collaboratif de cartographie en ligne qui vise à constituer une base de données géographiques libre du monde (permettant par exemple de créer des cartes sous licence libre), en utilisant le système GPS et d'autres données libres. Sous SIG, OSM est disponible en tant que Basemap.</i>
Pan	Panchromatic Band – <i>Bande panchromatique</i>
RVI	Ratio Vegetation Index – <i>Indice de ratio de la végétation</i>
SLC	Scan-Line Correction – <i>Correction des lignes de balayage</i>
SWIR	Short-Wavelength Infra-Red – <i>Infrarouge (IR) à courte longueur d'onde</i>
TIR (L/H)	Thermal Infra-Red (Low gain / High gain) – <i>Infrarouge thermique (faible gain / fort gain)</i>
TOA	Top-of-Atmosphere – <i>Haut de l'atmosphère</i>
TSS	Total Suspended Solids – <i>Total des solides en suspension</i>
UTM	Universal Transverse Mercator – <i>Projection Transverse universelle de Mercator</i>
VRE	Vegetation Red-Edge - <i>Le red-edge ou red edge (terme d'origine anglaise, littéralement « bord (ou marge) rouge »), est une portion du spectre électromagnétique dans le proche infrarouge. Il est utilisé en télédétection pour suivre l'activité végétale.</i>
WGS 1984	World Geodetic System 1984 – <i>WGS 84 (World Geodetic System 1984) est un système géodésique mondial. Il est composé d'un système de coordonnées, d'un ellipsoïde de référence (l'ellipsoïde de révolution IAG GRS 80), un géoïde (EGM96).</i>
WV	Water Vapour – <i>vapeur d'eau</i>

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 17
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



# 1 Introduction

## 1.1 Contexte et objectif de l'étude

Le Cameroun couvre la plupart des zones climatiques et de végétations d'Afrique et abrite des habitats uniques pour la faune et la flore [22]. Il est aussi riche en ressources minérales telles que le cobalt-nickel, le fer, le cuivre, l'uranium, la bauxite et les pierres précieuses [20]. Ces derniers temps, l'or est devenu le centre d'intérêt des mineurs artisanaux ainsi que des sociétés minières semi-mécanisées et mécanisées.

L'or est exploité dans l'Est du Cameroun depuis les années 1930 [14], [21]. Son exploitation est devenue de plus en plus attrayante lorsque les prix du marché mondial ont commencé à s'envoler après une longue stagnation vers 2005 [12], et grâce à l'importation d'équipements miniers tels que des excavatrices, des installations de lavage, des pompes à eau et des générateurs, qui sont devenus plus facilement disponibles dans le pays.

À ce jour, les gisements d'or potentiellement économiques sont limités au craton archéen du Congo dans les régions du Sud et du Centre-Sud et à la ceinture mobile panafricaine dans les régions de l'Est et de l'Adamaoua au Cameroun. L'or n'est pas la seule substance minérale exploitée de manière artisanale et semi-mécanique. Cependant, son exploitation montre le développement le plus dynamique et actuellement l'impact le plus important sur l'environnement et les conditions de vie humaines. L'exploitation de l'or a donc été choisie comme étude de cas, mais les techniques de surveillance par télédétection peuvent également être appliquées aux activités minières liées à d'autres substances.

Pour cette étude de cas, une zone test de 27 500 km<sup>2</sup> a été sélectionnée, couvrant la partie orientale des régions de l'Est et de l'Adamaoua au Cameroun, où la plupart des activités importantes d'exploitation artisanale et semi-mécanisée de l'or sont connues. Géologiquement, la zone appartient à la ceinture mobile panafricaine et se compose de roches métamorphiques de la Série du Lom (par exemple à Bétaré Oya et plus au nord) et de granites et granodiorites néoprotérozoïques de différentes tailles de grain et textures dans la majeure partie de la partie sud.

Outre l'or, la zone d'étude comprend des gisements alluviaux de diamants dans les roches sédimentaires du Crétacé (paléo placers) situés principalement près de la frontière avec la

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 18
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



République Centrafricaine. Même si certaines activités artisanales et semi-mécanisées d'exploitation de placers diamantifères sont connues au cours de la période étudiée, ces activités n'ont pas pu être déterminées séparément de l'exploitation de l'or qui présente - à l'échelle de la télédétection - une apparence similaire.

L'étude par télédétection de la zone est basée sur les données provenant de trois périodes différentes :

- 2002 (données Landsat), au début des années 2000, l'exploitation minière semi-mécanisée par des opérateurs majoritairement étrangers n'était pas encore pratiquée, et les quelques sites d'exploitation artisanale (Kambele, Colomines, Bétaré Oya) ne présentaient pas encore de traces facilement déterminables sur les images de télédétection qui présentait alors une assez faible résolution.
- 2015 (données Sentinel-2), lorsque l'exploitation des placers alluviaux par des entreprises semi-mécanisées a commencé à toucher de vastes zones et un pourcentage important des vallées fluviales (flats) de la région.
- 2019 (données Sentinel-2), qui était - au début de l'étude - la donnée disponible la plus récente compte tenu du fait que les images sans nuages doivent être sélectionnées, ce qui limite le choix disponible de périodes appropriées. Un intérêt particulier du développement des surfaces exploitées en 2019 est le début des activités minières en dehors des vallées fluviales qui indiquent l'exploitation de roches primaires altérées et - dans quelques cas - de gravier de terrasse plus ancien.

En juillet 2021, deux semaines de travail de terrain ont permis de confirmer la localisation des sites d'exploitation, et de déterminer l'extension des surfaces reconnues en télédétection, ainsi que la profondeur d'exploitation des nouvelles carrières et les impacts environnementaux et sociaux dans la zone d'étude. Dans le texte, nous nous référons souvent aux sites miniers (p.ex. MS-CM07) ou points d'observation (p.ex. OP-CM07). Ces points avec leur brève description de terrain et leurs coordonnées peuvent être consultés dans la section 3.3.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 19
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 1.2 La zone d'étude

La zone considérée couvre l'est de la région de l'Est du Cameroun et le sud-est de la région de l'Adamaoua. Elle s'étend entre la ville de Meiganga au nord-est, le barrage de Lom Pangar à l'ouest, le fleuve Doumé au sud-ouest et les villes de Ndélé et Kendzou au sud-est. Elle est principalement couverte de savane arbustive et présente des forêts galeries le long des cours d'eau. Au sud de Batouri, elle est couverte par de la forêt dense.

La zone est drainée par les principales rivières suivantes :

- Le Lom au Nord-Ouest, dont la partie en aval forme le barrage de Lom Pangar qui s'est rempli d'eau depuis env. 2013, pour atteindre son niveau final vers 2019,
- La Kadeï dans la partie centrale et sud avec ses affluents
  - la Doumé, venant du SW,
  - la Boubé qui coïncide avec la frontière de la République Centrafricaine.

A l'exception de la Doumé, tous ces cours d'eau et leurs affluents ont fait l'objet d'intenses activités d'exploitation alluvionnaire semi-mécanisées comprenant l'excavation des plaines alluviales (flats), la déviation des cours d'eau et le dragage dans les lits des grandes rivières Kadeï et Lom. En raison de l'épuisement des graviers alluvionnaires facilement exploitables et de l'application des lois environnementales, l'exploitation semi-artisanale de ces rivières a diminué depuis 2019.

La Figure 1 présente la zone d'étude.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 20
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

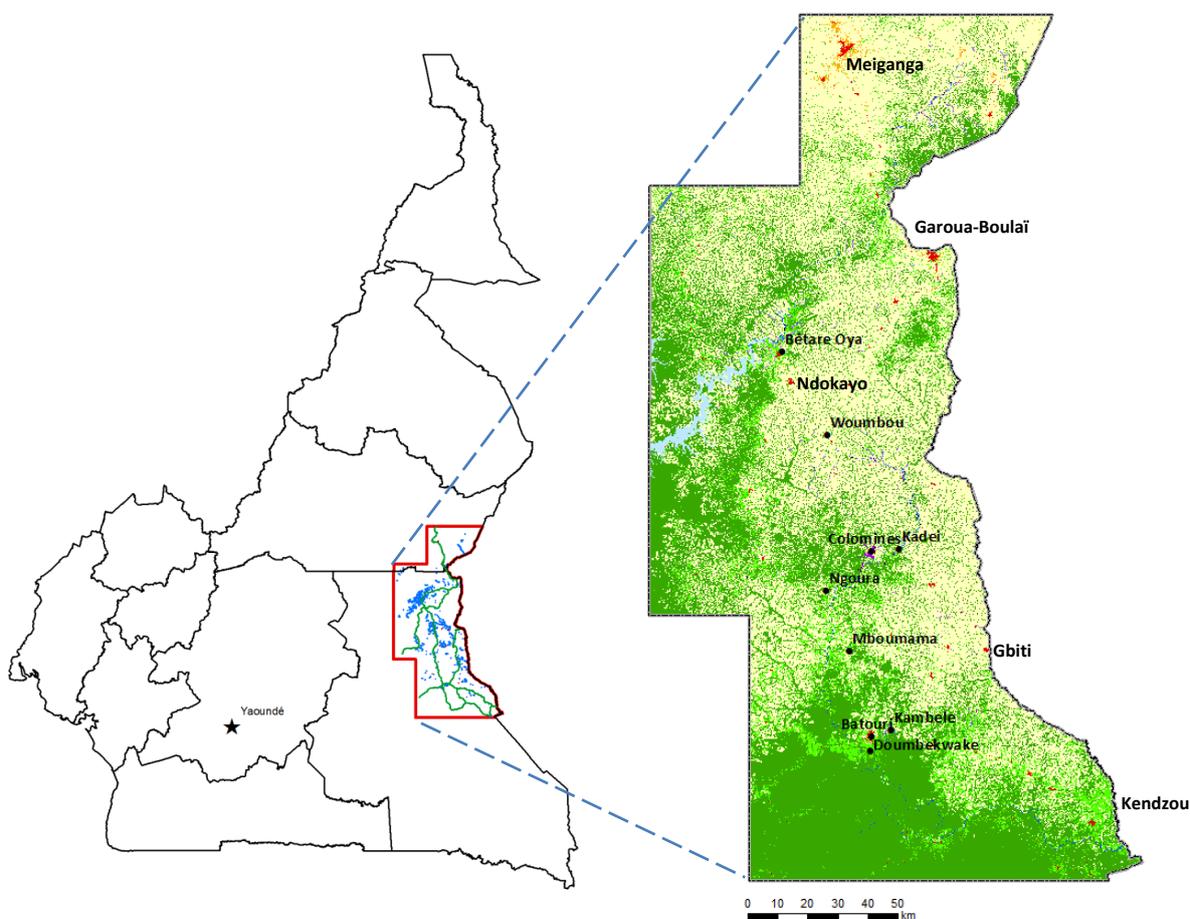


Figure 1 Zone choisie pour l'étude de télédétection

## 2 Approche et méthodologie du projet

### 2.1 Chronogramme des activités

Les principales activités du projet sont indiquées à la Figure 2. Elles sont divisées en cinq étapes :

1. Le démarrage de la mission,
2. L'obtention / téléchargement et analyse des données de télédétection en créant des cartes factuelles pour les trois périodes de référence 2002, 2015 et 2019 (occupation des terres, évolution des surfaces exploitées dans le temps, etc.),

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 21
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



3. La création des cartes dérivées (deforestation, conflits potentiels etc.) et l'étude des impacts environnementaux et sociaux des activités minières sur le terrain,
4. La finalisation des jeux de données pour les cartes, et les conclusions environnementales / recommandations.
5. La finalisation du projet et la rédaction / finalisations des livrables.

		Déc	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov	Déc.
		2021												
<b>Activités techniques</b>														
<b>Etape 1 - Démarrage de la mission</b>														
A1	Délimitation finale de la zone d'étude													
A2	Finalisation de la méthodologie													
A3	Adaptation du programme de travail													
A4	Elaboration du rapport de démarrage													
<b>Etape 2 - Analyse de données de télédétection</b>														
A5	Configuration de la base de données													
A6	Création des ébauches des cartes factuelles: (cartes minières, forestières, cours d'eau, dans différents intervalles)													
A7	Soumission des données 1, rapport d'avancement 1													
<b>Etape 3 - Création des cartes dérivées et des cartes de terrain; vérifications sur le terrain</b>														
A8	Creation des cartes dérivées (front de deforestation, conflits, environnement, social, rehabilitation,...)													
A9	Identification des cibles de terrain													
A10	Consultations avec le Client													
A11	Visites sur le terrain													
A12	Préparation et soumission des données 2, rapport synthétique du terrain													
<b>Etape 4 - Finalisation de cartographie, conclusions environnementales</b>														
A13	Création des cartes factuelles finales													
A14	Création des cartes dérivées finales													
A15	Conclusions environnementales, recommandations													
A16	Soumission du Rapport final provisoire													
<b>Etape 5 - Finalisation de Projet</b>														
A17	Finalisation de l'édition des cartes, création des portfolios de cartes													
A18	Rédaction finale du rapport général, intégration recommandations PRECASEM													
A19	Soumission de la base de données finale													

Figure 2 Chronogramme des activités

Étant donné la fermeture du projet PRECASEM fin novembre 2021, le présent rapport final et les cartes finales sont soumises avant la fin de la durée du contrat (qui était prévue initialement le 15 décembre).

## 2.2 Données fournies par le PRECASEM

Les données suivantes ont été fournies par le PRECASEM :

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 22
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- cartes géologiques historiques 1 / 500 000, feuilles Abong-Mbang E / W, Banyo, Batouri E / W, Douala E / W, Garoua E / W, Maroua, Ngaoundere E / W, Nola, Wum-Banyo, Yaoundé E / W.
- Carte géologique du Cameroun à 1 / 500 000 (partie centrale et NW du Cameroun), élaboré par le PRECASEM en 2019
- rapports / projets de rapport sur les travaux géologiques du PRECASEM au Cameroun, y compris sur les levés géochimiques des tests méthodologiques d'orientation
- Autres rapports, dont celui de l'ITIE Cameroun 2018.

## 2.3 Données recherchées et organisées par le Consultant

Le Consultant a effectué un travail de bibliographie consistant à rechercher toutes les sources utiles au projet pouvant compléter les données fournies par le PRECASEM. Les données de télédétection que le consultant a téléchargé et organisé proviennent des bases de données Landsat 7 (pour la période de référence 2002) et Sentinel-2 (pour 2015 et 2019/20).

## 2.4 Méthodologie de télédétection

### 2.4.1 Aperçu

L'imagerie optique de télédétection fournit une source de données unique et efficace pour surveiller les changements du paysage dues aux activités minières, bien que ces activités soient influencées par des effets phénologiques (p.ex. liés au changement des précipitations d'une année à l'autre) et d'autres activités humaines (agriculture, urbanisation, infrastructures). Conformément aux Termes de Référence, l'analyse par télédétection a été effectuée à l'aide d'images satellites acquises au cours de trois époques :

- 2002, définie comme état de référence pour l'occupation des terres avant le commencement des activités minières semi-mécanisées au Cameroun

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 23
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- 2015, quand l'exploitation alluvionnaire était largement pratiquée
- 2019/20, correspondant à la saison sèche la plus récente où des images satellites Sentinel-2 sans nuages étaient disponibles au commencement du projet.

Nous avons appliqué l'approche générale suivante :

- Utilisation des données de télédétection gratuites :
  - images *Landsat 7* pour le temps d'avant 2015 : résolution 30 m, 7 bandes spectrales,
  - données *Sentinel-2* pour l'année 2015 et 2019 : résolution 10 m, 13 bandes spectrales,
  - complétées par des données à haute résolution :
    - imagerie satellite mensuelle (~ 5 m résolution) « *Planet* » destinée à la surveillance des forêts tropicales, financé par le programme « *International Climate and Forests Initiative (NICFI)* » du gouvernement Norvégien,
    - GoogleEarth,
    - ESRI,
    - Bing maps.
- Détection et traçage des sites miniers au moyen d'approches semi-automatiques soutenues par l'interprétation des données de télédétection avec l'aide des ANN (réseaux neuronaux artificiels),
- Détection et traçage des problèmes environnementaux (par exemple, turbidité de l'eau, déforestation) en utilisant des approches semi-automatiques (réseaux neuronaux artificiels ) complétés par une validation sur le terrain.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 24
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 2.4.2 Imagerie Sentinel-2

Pour les années 2015 et 2019/2020, l'imagerie satellite Sentinel-2 était utilisée. Elle présente quatre caractéristiques principales :

1. source de données disponible gratuitement,
2. résolution spatiale faible à moyenne (4 bandes de 10 m, 6 bandes de 20 m, 3 bandes de 60 m),
3. données multispectrales allant du visible (VNIR) / proche infrarouge (NIR) à l'infrarouge à ondes courtes (SWIR),
4. résolution temporelle de 5 jours à l'équateur depuis 2015, permettant de suivre l'évolution des paysages au cours des dernières années.

Les carreaux de grille Sentinel-2 spécifiques couvrant la zone d'étude ont été identifiés et sont illustrés à la Figure 3. Au total, neuf carreaux de grille Sentinel-2 couvrent la zone. La totalité de la zone d'étude se trouve dans la zone Mercator UTM33N. Par conséquent, toutes les images sont projetées dans le système de coordonnées WGS84/UTM33N.

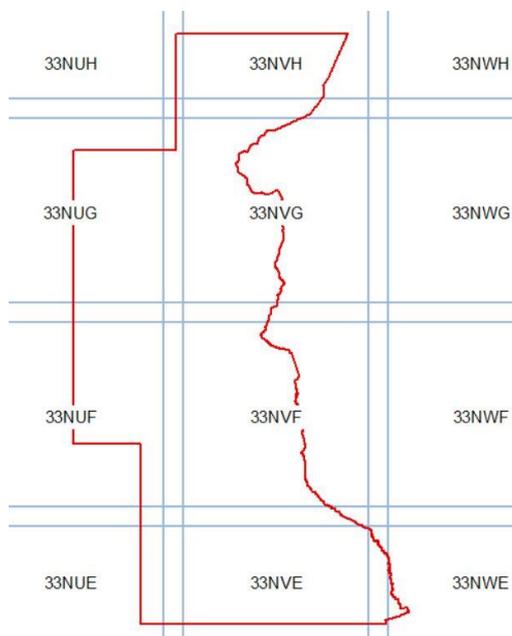


Figure 3 Identification des carrés de grille Sentinel-2 couvrant la zone d'étude

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 25
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 2.4.3 Imagerie Landsat-7

Nous avons utilisé l'imagerie optique Landsat-7 datant de la période entre 2000 et 2010. Ces données d'imagerie sont également gratuites et présentent une résolution spatiale moyenne de 30 m. Les carreaux de grille Landsat-7 spécifiques couvrant la zone d'étude ont été identifiés et sont illustrés à la Figure 4. Au total, cinq carreaux de grille Landsat-7 couvrent la zone d'étude. Toutes les images sont également projetées dans le système de coordonnées WGS84/UTM33N.

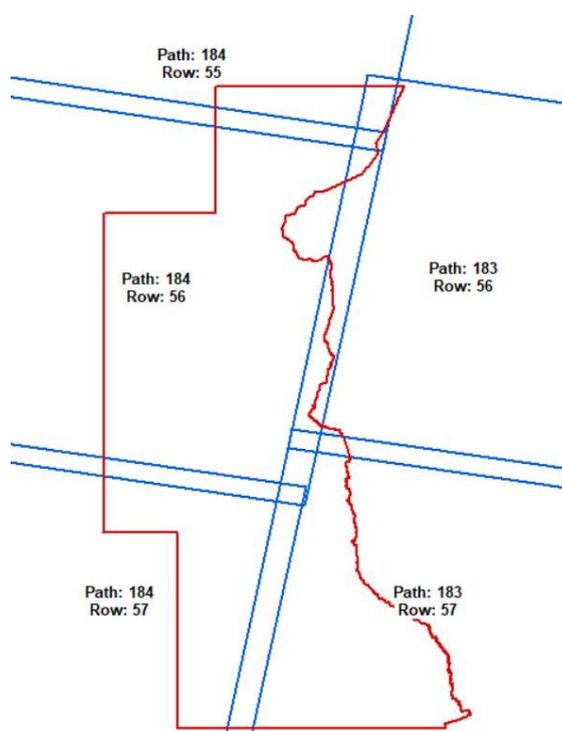


Figure 4 Identification des carreaux de la grille Landsat-7 couvrant la zone d'étude

### 2.4.4 Couverture nuageuse

Les analyses optiques nécessitent des images satellites avec moins de 10 % de couverture nuageuse. Les images répondant aux critères de couverture nuageuse sont généralement acquises en décembre ou début janvier, après la saison des pluies. Cette période est considérée comme appropriée pour l'analyse optique dans la zone d'étude.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 26
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 2.4.5 Téléchargement des données

### 2.4.5.1 Imagerie acquise pour décembre 2019

Les produits Sentinel-2 sont téléchargés depuis la plateforme Copernicus de l'ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>). Ce téléchargement est gratuit. La plateforme permet d'accéder aux archives en ligne de données corrigées de l'atmosphère (niveau de traitement 2A).

### 2.4.5.2 Imagerie acquise pour décembre 2015

Les images acquises pour décembre 2015 font partie des données d'archives de longue durée (*LTA*) et ne sont disponibles que sous forme d'images hors ligne. L'accès au téléchargement gratuit des images satellite Sentinel-2 (*LTA*) hors-ligne est fourni par la plateforme de l'USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). L'imagerie satellite acquise en décembre 2015 pour les besoins de cette étude n'est disponible qu'au niveau 1C. Elle a dû être corrigée sur le plan atmosphérique et convertie en produit de niveau 2A. La conversion a été effectuée dans QGIS à l'aide du plugin open-source de classification semi-automatique.

### 2.4.5.3 Imagerie acquise entre décembre 2000 et 2010

L'imagerie optique de Landsat-7 acquise en 2002 (avant l'échec des instruments de correction des lignes de balayage (*SLC*)) a été utilisée. L'accès au téléchargement gratuit de l'imagerie Landsat-7 par réflectance de surface est possible sur la plateforme de l'USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Les données corrigées de l'atmosphère comprennent des informations multispectrales allant du visible (*VNIR*) et du proche infrarouge (*NIR*) à l'infrarouge à ondes courtes (*SWIR*) et sont prêtes à être utilisées pour l'analyse.

Une liste des images téléchargées est donnée dans le Tableau 1 et Tableau 2 :

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 27
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Tableau 1 Liste des images satellites Sentinel-2 téléchargées couvrant la zone d'étude

Carré	Produit de données	Résolution Spatiale	Source de données	Système de coordonnées	Jour d'acquisition
T33NUE	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NUF	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NUG	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NUH	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NVE	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205 20191217
T33NVF	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205 20191217
T33NVG	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NVH	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NWE	2A	10m, 20m, 60m	ESA	UTM33N / WGS84	20191205
T33NUE	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20151226
T33NUF	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20151226
T33NUG	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20151226
T33NUH	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20151226
T33NVE	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20160102
T33NVF	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20160102
T33NVG	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20151226
T33NVH	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20151226
T33NWE	1C	10m, 20m, 60m	USGS	UTM33N / WGS84	20160102



Tableau 2 Liste des images satellites Landsat-7 téléchargées couvrant la zone d'étude

Carré	Produit de données	Résolution Spatiale	Source de données	Système de coordonnées	Jour d'acquisition
183 / 56	2	30m	USGS	UTM33N / WGS84	20021204
183 / 57	2	30m	USGS	UTM33N / WGS84	20021204
184 / 55	2	30m	USGS	UTM33N / WGS84	20021125
184 / 56	2	30m	USGS	UTM33N / WGS84	20021125
184 / 57	2	30m	USGS	UTM33N / WGS84	20021227

## 2.4.6 Traitements

### 2.4.6.1 Correction atmosphérique

L'analyse sur de grandes zones et de longues périodes de temps nécessite l'utilisation de données corrigées de l'atmosphère. La correction atmosphérique est une étape préalable essentielle pour renforcer et améliorer l'identification des signatures spectrales de différents objets ou matériaux à la surface du sol. Les commentaires suivants s'appliquent à l'imagerie mise en œuvre dans cette étude :

- Landsat-7 : les données corrigées de l'atmosphère peuvent être commandées et téléchargées gratuitement en tant qu'imagerie de réflectance de surface (niveau 2).
- Sentinel-2 : les données corrigées de l'atmosphère (les produits dits "*Bottom-of-Atmosphere Level-2A*") ne sont disponibles que pour les images satellite acquises après la fin de 2018. Les images antérieures doivent être converties individuellement du niveau 1C en produits de niveau 2A à correction atmosphérique.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 29
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 2.4.6.2 Mosaïquage

Les images satellite sont mosaïquées à couleurs équilibrées (pour éviter toute incohérence spectrale due à des variations phénologiques dans les zones de chevauchement) et découpées aux limites de la zone d'étude. Un aperçu des mosaïques créées est donnée à la Figure 5.

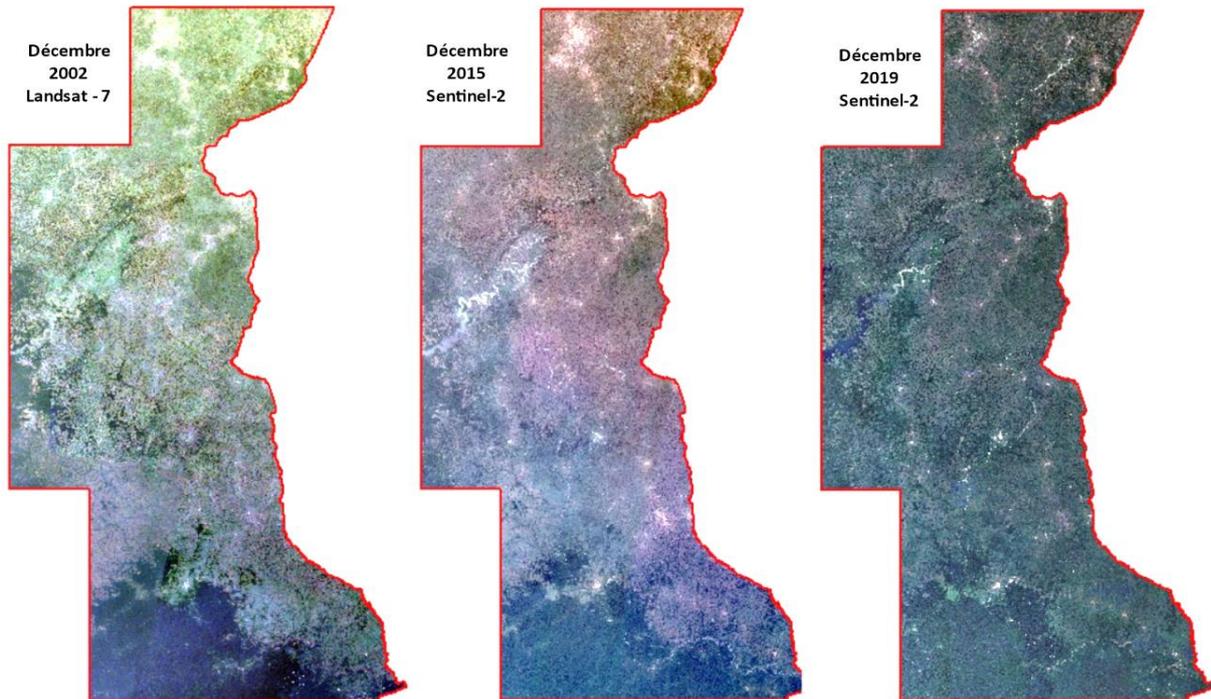


Figure 5 Jeux de données en mosaïque d'images satellitaires Landsat et Sentinel-2 acquises en décembre 2002, 2015 et 2019.

## 2.5 Création des cartes factuelles

### 2.5.1 Cartographie semi-automatique des sites miniers

#### 2.5.1.1 Méthodologie basée sur les données Sentinel-2

Les activités minières artisanales semi-mécanisées de petite à moyenne échelle sont détectées à l'aide des réseaux neuronaux artificiels (ANN) des algorithmes d'apprentissage automatique supervisé. Les algorithmes des ANN sont mis en œuvre dans le logiciel de Beak Consultants GmbH, advangeo® Prediction software.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 30
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

Advangeo® est un logiciel de modélisation et de prédictivité, développé pour modéliser les données spatiales et analyser les relations complexes entre une grande variété de paramètres d'influence d'une part et un événement ou une occurrence minière d'autre part, en utilisant des méthodes d'intelligence artificielle dans l'environnement SIG. Le principe de base est la capacité des réseaux neuronaux artificiels à généraliser et à apprendre à partir de relations non linéaires, et à modéliser des processus et des événements naturels complexes, qui sont difficiles ou impossibles à décrire avec des mathématiques analytiques. Advangeo® est disponible en tant qu'application autonome avec une interface conviviale, qui permet à l'utilisateur de créer et de construire des modèles paramétrés de manière flexible.

Un workflow en sept étapes est mis en place :

- a) Collecte des paramètres de contrôle (Figure 6), c'est-à-dire des données qui contrôlent les caractéristiques modélisées (ici les sites miniers) :
- Imagerie satellitaire Sentinel-2 prétraitée sans nuage ou avec peu de nuages ;
  - Données topographiques *Open Street-Map* (OSM) telles que agglomérations, infrastructures, etc.

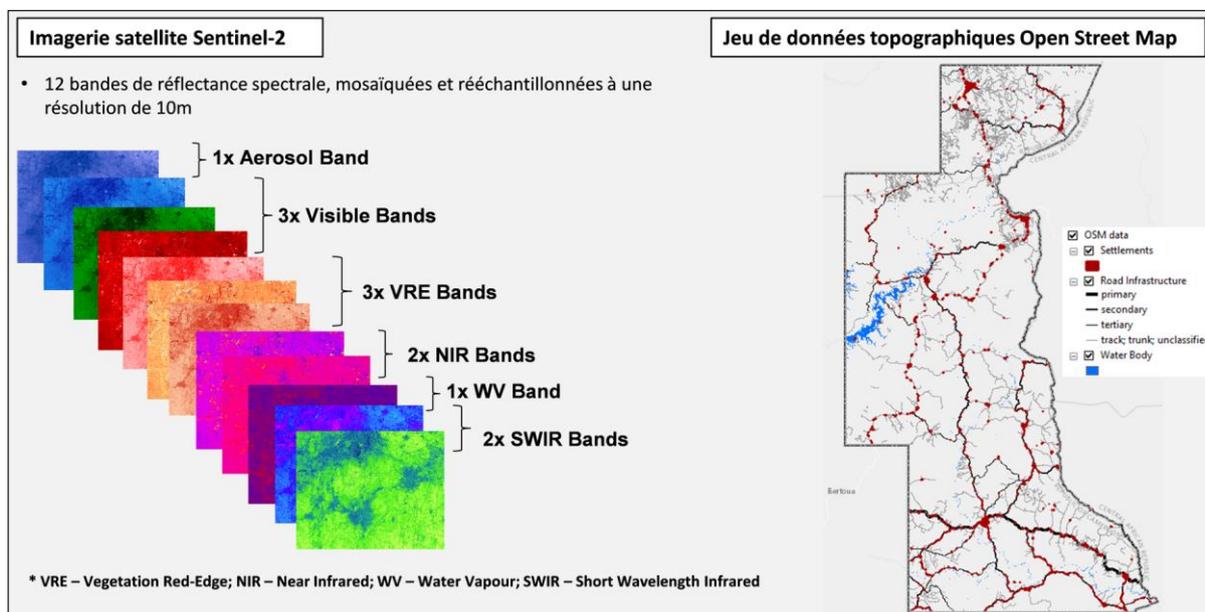


Figure 6 Collecte des données contrôlant les caractéristiques à modéliser.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 31
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



b) Traitement pour la création des données d'entrée du modèle, incluant les étapes suivantes :

- projection des données d'entrée dans le système de coordonnées du projet (WGS 1984 / UTM 33N, EPSG : 32633) ;
- rééchantillonnage à la résolution spatiale spécifiée selon les exigences du projet (résolution spatiale de 10 m) ;
- découpage des jeux de données d'entrée à l'échelle de la zone du projet ;
- création des jeux de données personnalisés tels qu'un raster de proximité carrée inverse pour des ensembles de données ponctuelles ou linéaires (par exemple, pour exclure les infrastructures de transport, les établissements humains, etc.)
- mise à l'échelle linéaire de valeurs de données matricielles (raster) continues entre 0 et 1 ; conversion de données vectorielles discrètes en données matricielles binaires avec des valeurs de 0 et 1 comme données d'entrée du modèle.

c) Conception du scénario d'apprentissage du réseau neuronal artificiel : les modèles d'entraînement (données d'apprentissage) sont idéalement des sites miniers présentant un contraste spectral évident avec le milieu environnant et des caractéristiques de réflectance spectrale distinctes (voir les données d'étalonnage à la Figure 7). Le scénario d'apprentissage comprend ainsi les données de calibrage (sites miniers connus utilisés pour l'entraînement du réseau neuronal), les paramètres de contrôle et les paramètres du réseau. La Figure 7 présente un aperçu schématique de la technique mise en œuvre.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 32
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

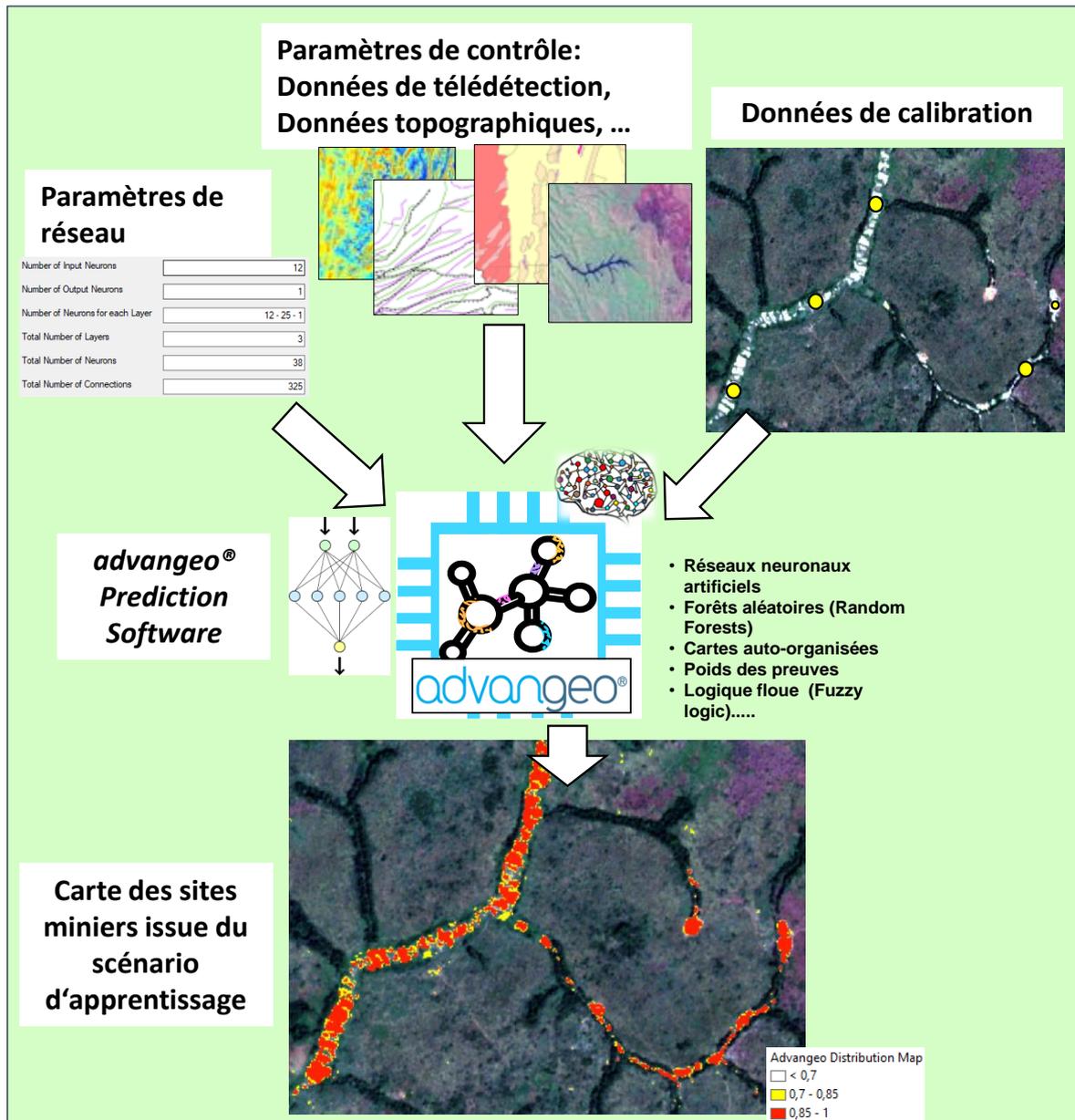


Figure 7 Aperçu schématique de la technique mise en oeuvre pour la cartographie prédictive semi-automatique des sites miniers

d) Validation des ANN entraînés : La précision et la fiabilité des ANN entraînés sont ensuite évaluées à l'aide des approches suivantes :

i. l'erreur du réseau (erreur quadratique moyenne - EQM),

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 33
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- ii. évaluation des statistiques (tous les pixels vs. Pixels Vrais Positifs),
- iii. analyse des poids des paramètres du modèle,
- iv. carte de distribution advangeo sur la zone d'apprentissage; identification automatique des emplacements connus, qui n'ont pas été utilisés pour l'apprentissage du réseau neuronal.

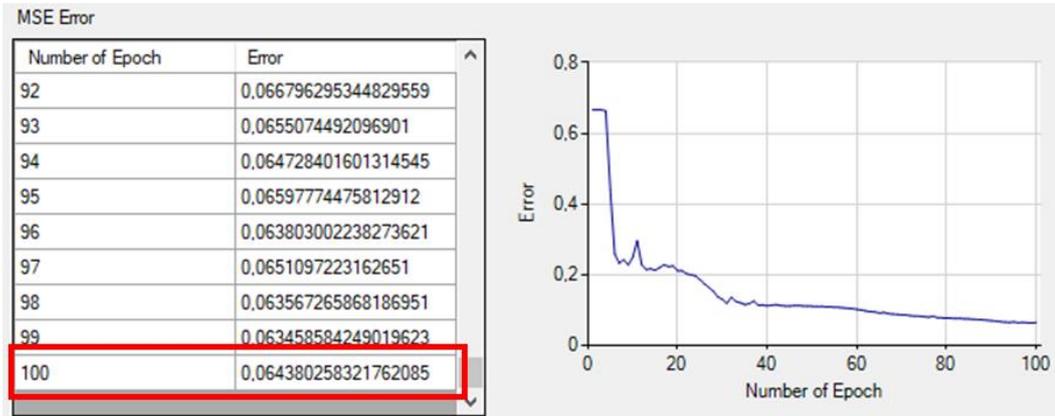
Les figures correspondant à l'évaluation qualité de l'entraînement du RNA final sont présentées ci-dessous (Figure 8 et Figure 9).

En général, des erreurs MSE inférieures à 0,2, des poids de paramètres équilibrés et une probabilité élevée de modélisation de pixels vrais positifs sont des indicateurs de la qualité d'un réseau neuronal stable et bien entraîné.

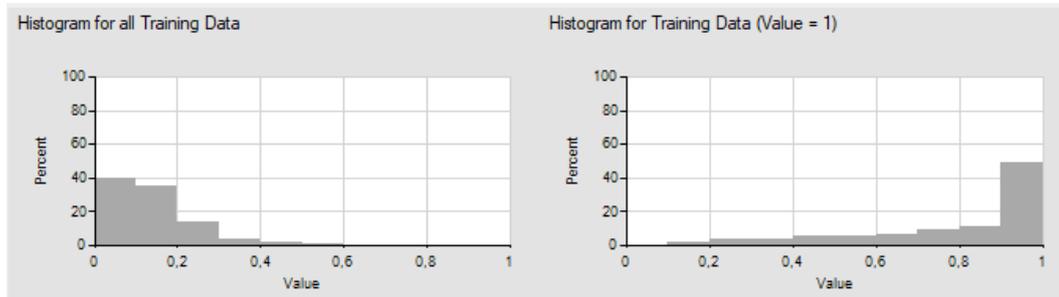
Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 34
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



i.



ii.



iii.

Weights		Analysis
Name	Connection Weights	Garson Algorithm
Sentinel2-2019\B02	-459,91	0,06
Sentinel2-2019\B03	-791,86	0,07
Sentinel2-2019\B04	-674,68	0,1
Sentinel2-2019\B05	-2370,07	0,04
Sentinel2-2019\B06	249,61	0,01
Sentinel2-2019\B07	407,62	0,01
Sentinel2-2019\B08	421,46	0,01
Sentinel2-2019\B11	941,68	0,06
Sentinel2-2019\B12	78,1	0,03
Sentinel2-2019\B8A	530,44	0,01
OSM\Urban Area	-156731,23	12,3
OSM\Infrastructure	-156731,23	12,3

Figure 8 i) Évaluation de l'erreur quadratique moyenne, ii) Histogramme des données d'apprentissage, et iii) Analyse de la pondération des paramètres de contrôle.



La Figure 9 montre une zone d'apprentissage qui comprend les rivières de Moul et Woumbou et les villages de Woumbou et Tikondi sur la route Ndokayo – Ngoura, région de l'Est.

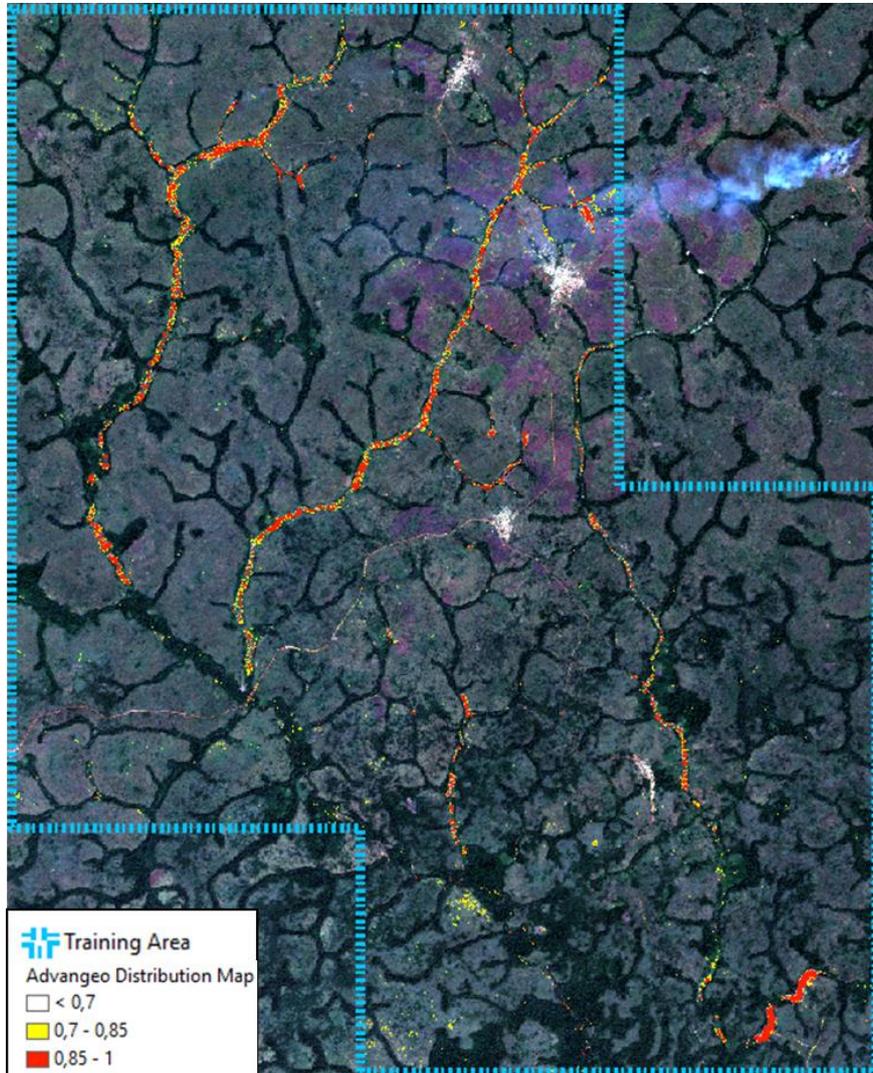


Figure 9 Carte de distribution advangeo® pour le scénario d'apprentissage

Afin d'optimiser les paramètres de qualité, les données de calibration ont été enrichies et améliorées de manière itérative, jusqu'à ce que le réseau RNA entraîné soit performant et donne des résultats fiables.

e) Application du modèle. Après validation réussie, le RNA entraîné est utilisé dans d'autres localités non étudiées afin d'identifier des événements similaires. Le résultat est une carte

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 36
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



de distribution de probabilité sur l'ensemble de la zone d'étude. La Figure 10 présente l'exemple d'une petite partie de la carte des sites miniers ainsi créée.

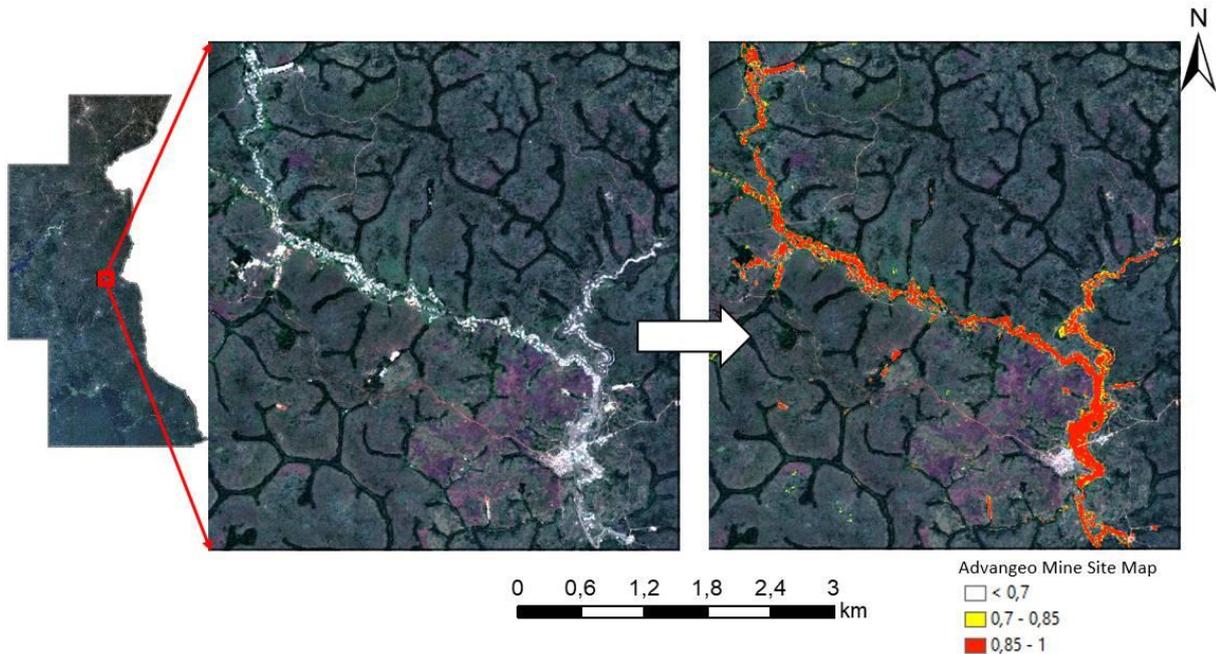


Figure 10 Extrait de la carte des sites miniers identifiés sur toute la zone d'étude issue du RNA entraîné avec le logiciel advangeo®

f) Affinement et présentation. Les résultats de la classification RNA sont des données matricielles irrégulières basées sur des pixels. Les résultats de la classification ont été affinés et traités automatiquement, afin d'améliorer la représentation cartographique de la carte finale. Le résultat est une carte vectorielle des sites miniers identifiés. La Figure 11 montre un exemple d'exploitation de placer aurifère situé à la rivière de la Kadeï.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 37
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

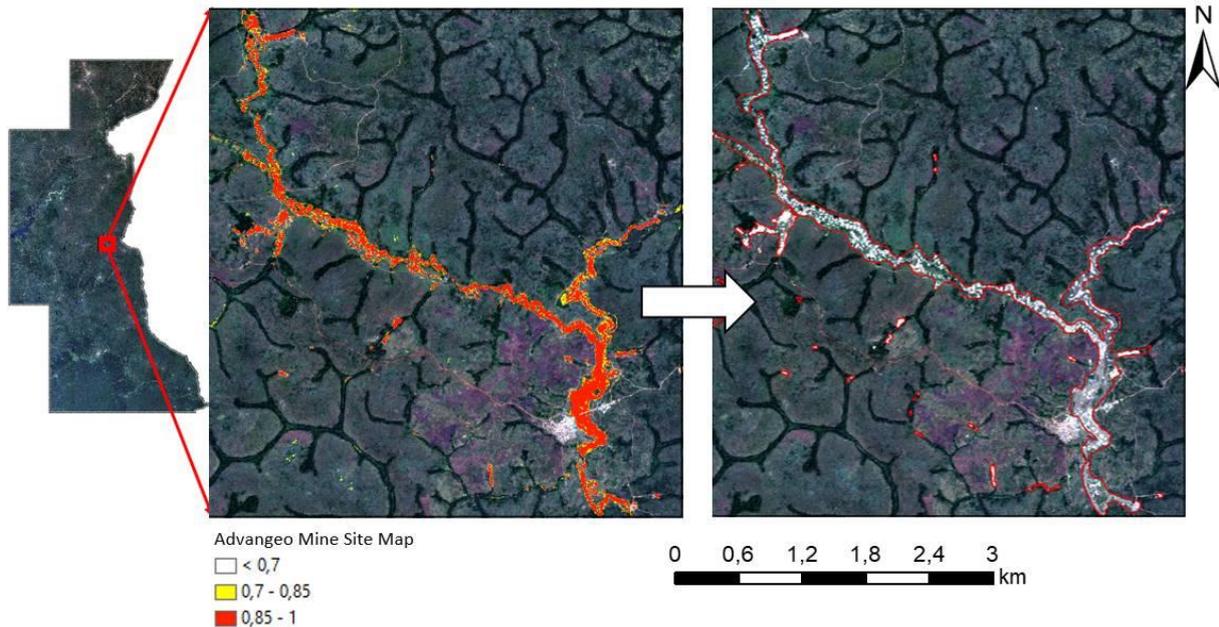


Figure 11 Affinement du résultat de la cartographie advangeo®.

g) Validation. La carte vectorielle raffinée de sites miniers est ensuite validée en utilisant principalement les images à haute résolution de *Planet Basemaps* (voir 2.5.2), en combinaison avec une série d'images historiques : Landsat-7, Sentinel-2, ESRI Basemaps, etc. Les images historiques sont utilisées pour mieux identifier les modifications du paysage. Parfois, la résolution de l'imagerie disponible n'est pas suffisante pour distinguer les zones dénudées / roches exposées (« bare land ») des sites miniers. Ces sites sont documentés séparément des sites miniers validés.

## 2.5.2 Basemaps *Planet* pour la validation du modèle

Les cartes de base (*basemaps*) de *Planet.com* sont des mosaïques à haute résolution, prêtes à être analysées, rendues accessibles par le programme de données satellitaires de l'Initiative internationale sur le climat et les forêts de Norvège (IIFC). Ce programme offre un accès gratuit aux données annuelles de mosaïques tropicales pour la période allant de décembre 2015 à août 2020 (cinq tranches de temps).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 38
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Les données *Planet* ont été téléchargées (<https://www.planet.com/basemaps/#/mosaic/>) en carrés de 20 x 20 km à 4,7 m de résolution spatiale, pour 2015 et 2019. Le réseau de satellites *PlanetScope* est composé d'un imageur à quatre bandes (bleu, rouge, vert et proche infrarouge) et a un temps de revisite d'une journée. Les mosaïques tropicales de l'archive bi-annuelle ont été créées en assemblant des images avec peu de nuages et sans nuage acquises pendant la saison sèche (de décembre à mars).

La zone d'étude est couverte par 115 tuiles quadruples, qui ont été mosaïquées par équilibrage des couleurs et découpées en fonction de la zone d'étude, comme l'illustre la Figure 12.

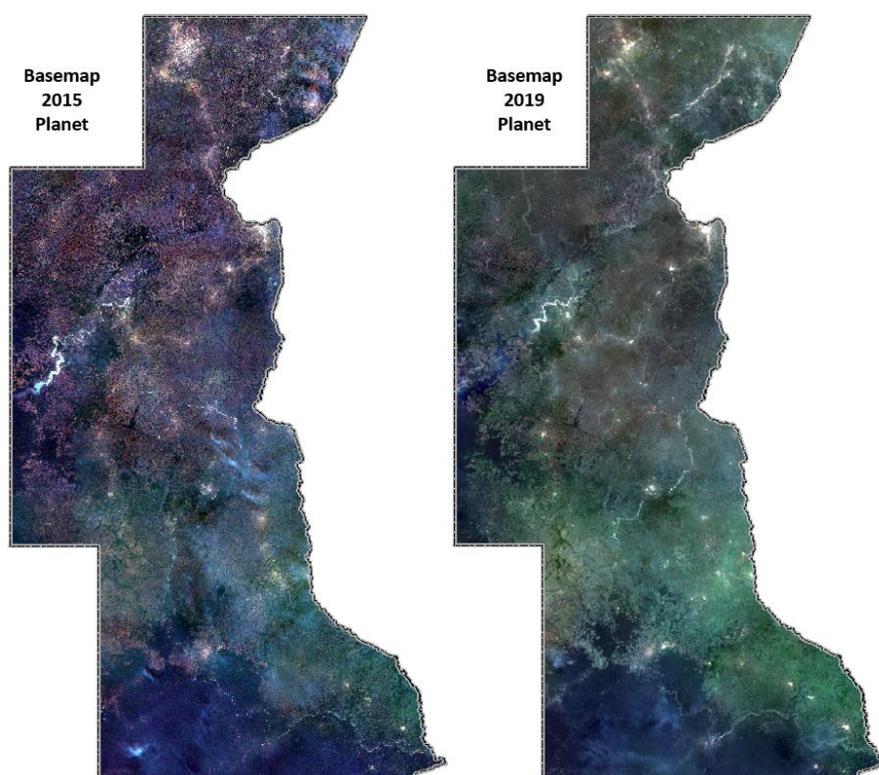


Figure 12 Jeux de données mosaïque de Planet Basemap pour la saison sèche en 2015 et 2019

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 39
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 2.5.3 Cartes finales des sites miniers

Le réseau neuronal de 2019 a été utilisé pour identifier des sites miniers similaires dans des zones inconnues pour l'imagerie acquise en 2015. Le workflow général et les méthodes de validation sont similaires à ceux décrits pour l'application du modèle en 2019.

Enfin, une carte des sites miniers pour chaque époque (2015 et 2019) a été créée et vérifiée manuellement avec les *basemaps* Planet, les données Landsat, les données Google Earth, les *basemaps* ESRI, les données Sentinel-2 et les observations historiques au sol disponibles. Les cartes finales des sites miniers sont présentées à la Figure 13.

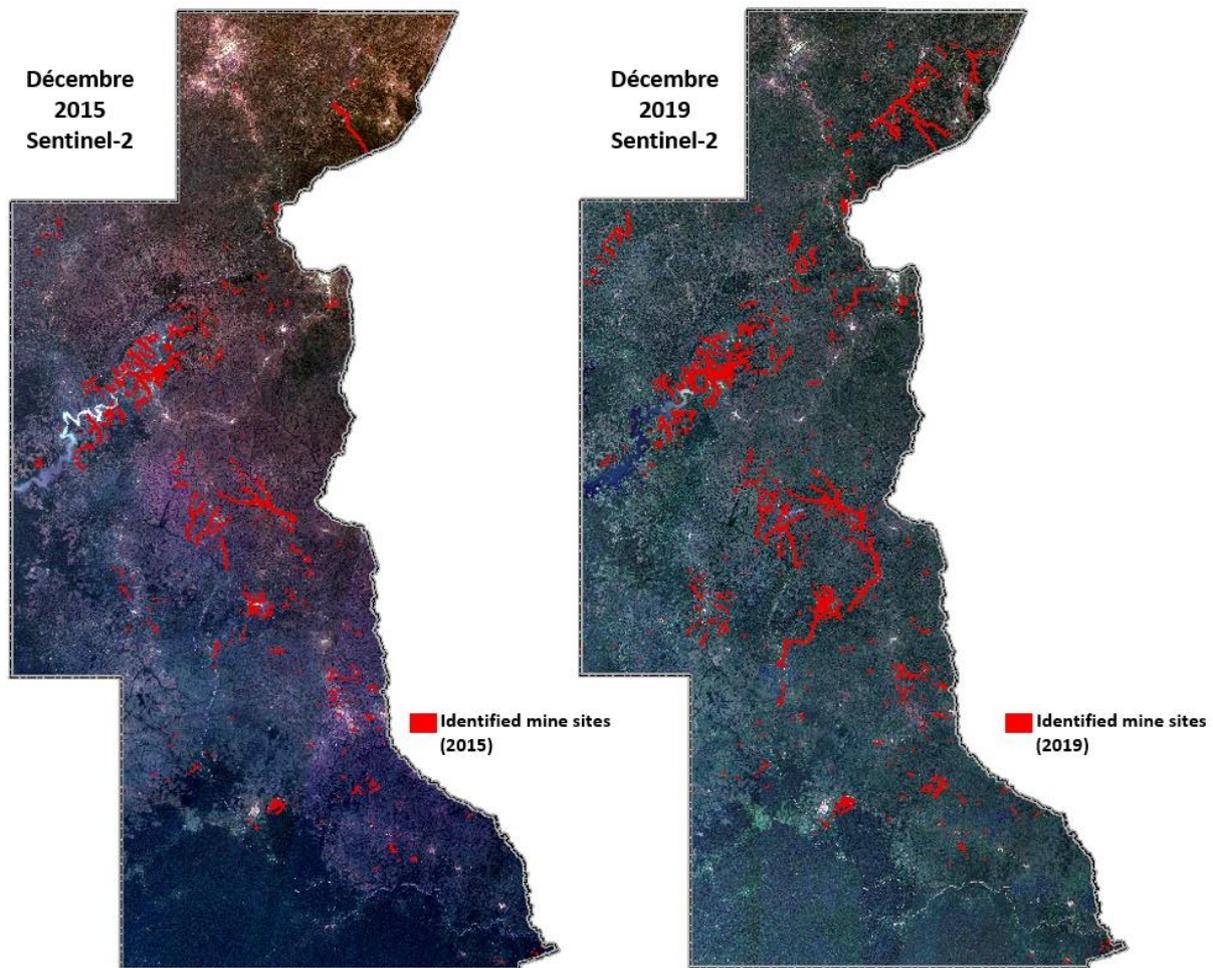


Figure 13 Cartes finales des sites miniers identifiés pour 2015 et 2019.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 40
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 2.6 Création des cartes thématiques

### 2.6.1 Pré-traitement de l'imagerie satellite

Afin d'effectuer une analyse spectrale pour différentes tranches de temps, des basemaps satellites sans nuages ont été composées en empilant et en mosaïquant des images individuelles comme suit :

- Dans cette étude, la tranche de temps de référence est définie pour la période 2000-2003. En raison du long temps de revisite du satellite Landsat-7 (cycle de répétition de 16 jours), l'intervalle de temps d'acquisition approprié a été étendu à trois ans, afin d'obtenir une basemap sans nuages de la zone d'étude. La basemap finale a été créée par empilage et mosaïquage de 29 images satellites. Elle sera désignée sous le nom de *Basemap 2002*.
- La première tranche de temps pour l'évaluation environnementale est fixée entre le 15 décembre 2015 et le 15 janvier 2016. Pendant cette période, la mission Sentinel-2 Copernicus n'a fonctionné qu'avec le satellite Sentinel-2A et avait un temps de revisite de 10 jours à l'équateur, permettant une imagerie plus fréquente de la zone d'étude qu'avec Landsat-7. La Basemap finale a été créée par empilage et mosaïquage de 32 images satellites individuelles. Elle sera désignée sous le nom de *Basemap 2015*.
- La seconde tranche de temps pour l'évaluation environnementale est fixée entre le 15 novembre 2019 et le 31 janvier 2020. Pendant cette période, la mission Sentinel-2 Copernicus a fonctionné avec les deux satellites Sentinel-2 (A et B) et avait un temps de revisite de 5 jours à l'équateur, permettant une imagerie plus fréquente de la zone d'étude. La Basemap finale a été créée par empilage et mosaïquage de 175 images satellites individuelles. Elle sera désignée sous le nom de *Basemap 2019*.

Cette technologie d'empilage et de mosaïquage présente les avantages suivants :

- Réduction du bruit aléatoire des acquisitions individuelles,
- Évitement des artefacts provenant principalement de la luminosité et des conditions atmosphériques locales,
- Elle masque les parties nuageuses des images individuelles et les remplace par d'autres images acquises dans un court intervalle de temps.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 41
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- Elle permet de concevoir des basemaps satellitaires sans nuages dans toute la zone d'étude.

Le Tableau 3 donne un aperçu des bandes multispectrales des images Sentinel-2 et Landsat-7, ainsi que leur comparaison. Les données d'imagerie ont été rééchantillonnées à une résolution spatiale de 10 m et découpées en un polygone "tampon" de 20 m autour de la zone d'étude. Pour les acronymes détaillés voir: <http://www.gisagmaps.com/landsat-8-sentinel-2-bands/> et <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>

Tableau 3 Comparaison des imageries satellite Landsat 7 et Sentinel-2

Bandes Landsat-7 ETM+				Bandes Sentinel-2 MSI			
Bande		Long. d'onde (µm)	Rés.(m)	Bande		Long. d'onde (µm)	Rés.(m)
				1	C/A	0.421 – 0.457	60
1	Bleue	0.441 – 0.514	30	2	Bleue	0.439 – 0.535	10
2	Verte	0.519 – 0.601	30	3	Verte	0.537 – 0.582	10
3	Rouge	0.631 – 0.692	30	4	Rouge	0.646 – 0.685	10
				5	VRE	0.694 – 0.714	20
				6	VRE	0.731 – 0.749	20
				7	VRE	0.768 – 0.796	20
				8	NIR	0.767 – 0.908	10
4	NIR	0.772 – 0.898	30	8a	NIR	0.848 – 0.881	20
				9	WV	0.931 – 0.958	60
				10	Cirrus	1.338 – 1.414	60
5	SWIR-1	1.547 – 1.749	30	11	SWIR-1	1.539 – 1.681	20
7	SWIR-2	2.064 – 2.345	30	12	SWIR-2	2.072 – 2.312	20
6	TIR (L/H)	10.31 – 12.36	60				
8	Pan	0.515 – 0.896	15				



## 2.6.2 Création des cartes environnementales

### 2.6.2.1 Identification des masses d'eau de surface

Les méthodes de télédétection sont utiles pour détecter l'emplacement des masses d'eau de surface et leur histoire. Les masses d'eau de surface ont été extraites pour chaque tranche de temps à l'aide de l'indice de différence d'eau normalisé modifié (MDNWI), comme décrit par [5]. L'algorithme a donné de très bons résultats. Très peu de valeurs aberrantes ont été supprimées manuellement après inspection visuelle de la zone extraite.

La comparaison des trois tranches de temps montre que la superficie des eaux de surface a augmenté au fil des années (voir Tableau 4), passant de 46,75 km<sup>2</sup> à 279,65 km<sup>2</sup>. Ceci est dû principalement au barrage de Lom Pangar qui s'étend aujourd'hui en amont jusqu'à Bétaré Oya (voir Figure 14). L'autre facteur d'augmentation des masses d'eau de surface est l'activité minière : en raison de l'exploitation minière alluvionnaire sémi-mécanisée et des nombreux bassins d'eau restants, la surface de l'eau a également augmenté (voir Figure 15).

Tableau 4 Surface d'eau extraite pour chaque Basemap dans la zone d'étude

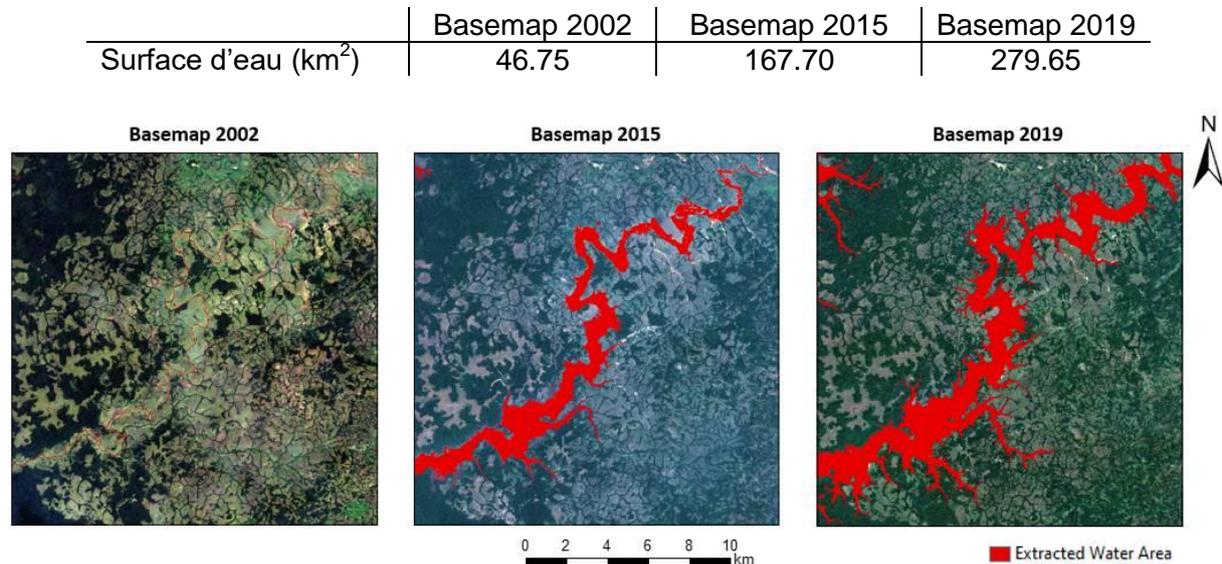


Figure 14 Surface d'eau extraite pour la zone du barrage de Lom - Pangar pour chaque basemap.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 43
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

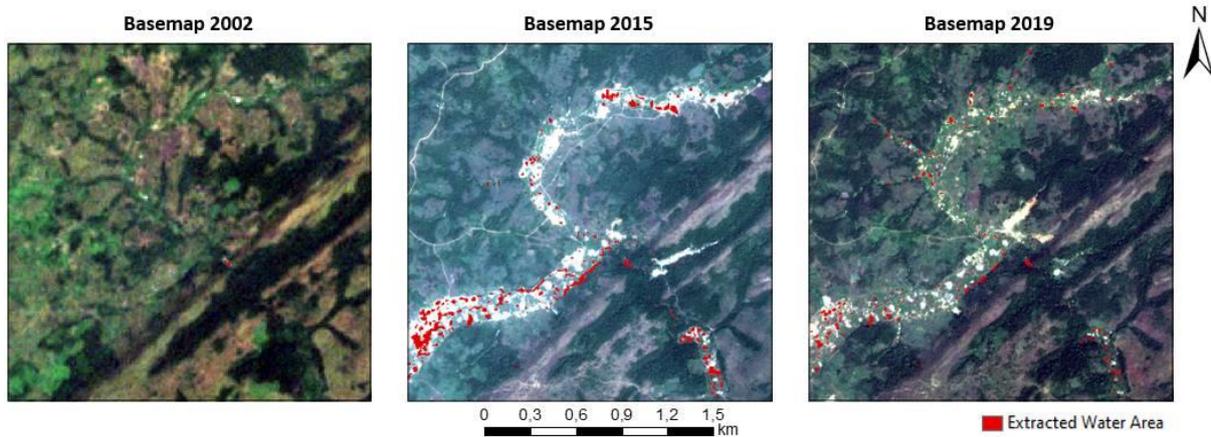


Figure 15 Superficie des eaux de surface extraite d'une section de la rivière Kadeï pour chaque basemap

Un autre aspect à considérer est la résolution spatiale de 30 m de l'imagerie Landsat-7 (2002), comparée à la résolution de 10-20 m fournie par l'imagerie Sentinel-2 (2015 et 2019). Il s'agit d'un facteur limitant pour l'identification d'éléments dont le diamètre est inférieur à 30 m. Un exemple est illustré à la Figure 16. Des mesures sporadiques ont révélé que la rivière du Lom dans la section sélectionnée a une largeur moyenne de 20 m. Cette largeur est insuffisante pour être détectée par l'imagerie Landsat-7. Par conséquent, la zone d'eau n'a été que partiellement extraite de la Basemap 2002. Pour 2015 et 2019, en utilisant les produits basés sur Sentinel-2 (Basemap 2015), les masses d'eau de surface ont été complètement extraites jusqu'à un diamètre de 10 - 15 m (taille des pixels de l'image : 10 m). Sur la Basemap 2019, l'interruption des cours d'eau due à l'exploitation minière est clairement visible.

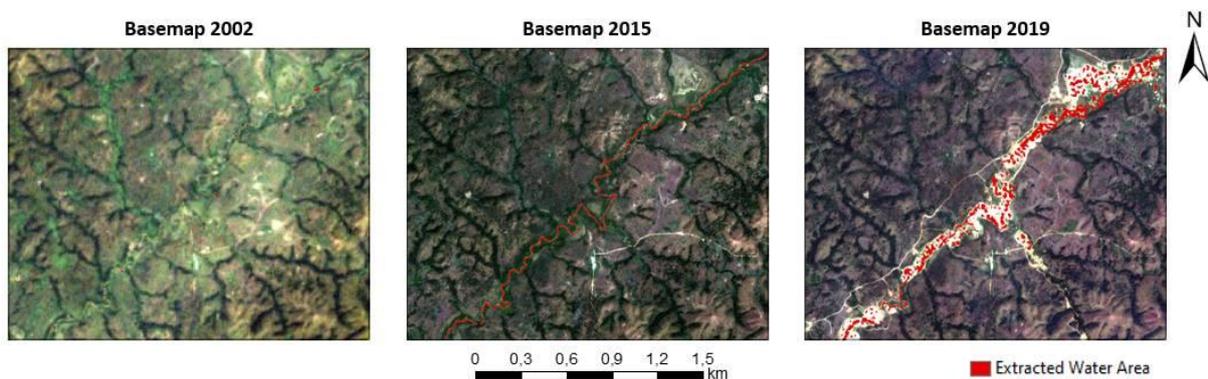


Figure 16 Superficie des eaux de surface extraites d'une section de la rivière Lom pour chaque basemap.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 44
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 2.6.2.2 Qualité des eaux de surface

### 2.6.2.2.1 Introduction

Les données de l'imagerie multispectrale (MSI) de Sentinel-2 et de Landsat-7 *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) peuvent être utilisées pour la cartographie qualitative et le suivi de plusieurs paramètres de qualité de l'eau (voir Tableau 5). Ces paramètres sont utilisés pour définir l'état trophique et la qualité des eaux de surface (rivière, lac, barrage, etc.).

*Tableau 5 Paramètres de qualité de l'eau pouvant être modélisés par des méthodes de télédétection, classés en paramètres physiques, chimiques et biologiques. TSS = Total des Solides en Suspension*

	Paramètres de la qualité de l'eau		
	Physiques	Chimiques	Biologiques
1	Turbidité	pH	Chlorophylle-A
2	TSS	Oxygène Dissous	
3	Couleur		

Les corrélations entre les paramètres de qualité de l'eau et les données d'imagerie multispectrale sont définies à l'aide:

- a) des algorithmes de rapport de bande établis, ou
- b) des modèles empiriques issus de la littérature disponible. Ces modèles résultent de l'ajustement de données in situ et de combinaisons spécifiques de bandes spectrales Sentinel-2.

Les algorithmes utilisent des bandes de réflectance partiellement TOA (*Top of Atmosphere* – Haut de l'atmosphère) et partiellement BOA (*Bottom of Atmosphere* – Bas de l'atmosphère). Dans certains cas, l'imagerie du haut de l'atmosphère donne de meilleurs résultats que l'imagerie corrigée de l'atmosphère. Cela s'explique par le fait que, bien souvent, les procédures de corrections atmosphériques, qui donnent de bons résultats dans le cas d'eaux océaniques claires, surcorrigent les données dans les eaux côtières et intérieures, produisant des réflectances négatives dans la partie bleue du spectre [34]. Afin d'appliquer

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 45
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



correctement les algorithmes, des mosaïques de bandes de réflectance ont été calculées séparément pour les produits TOA et BOA disponibles.

Une classification des paramètres de qualité de l'eau en deux groupes principaux est suggérée par [26]: les paramètres optiquement actifs et les paramètres non optiquement actifs (voir Tableau 6).

*Tableau 6 Paramètres de qualité de l'eau classés en paramètres optiquement actifs et non actifs*

<b>Paramètres optiquement actifs</b>	<b>Paramètres non optiquement actifs</b>
Turbidité	pH
Total des solides en suspension (TSS)	Oxygène dissous
Chlorophylle-A	
Couleur	

L'établissement d'équations de corrélation entre les données de télédétection et les paramètres optiquement non actifs est toujours un sujet de recherche actuel. Certaines recherches expliquent les corrélations obtenues pour les paramètres optiquement non actifs par des relations indirectes avec les paramètres optiquement actifs [26].

Les paramètres de qualité de l'eau estimés à partir de différentes cartes de base au cours de différentes années ne peuvent pas être comparés directement sur une base quantitative. Cette affirmation repose sur les principes suivants :

- Les algorithmes conçus ne fournissent que des informations qualitatives, mais pas quantitatives,
- La qualité de l'eau peut être facilement influencée par des facteurs temporaires tels que des précipitations locales, etc.,
- La plupart des algorithmes diffèrent pour les différents capteurs (Sentinel-2, Landsat-7). De nombreux algorithmes conçus pour les bandes Sentinel-2 ne peuvent pas être utilisés directement pour les bandes Landsat-7 et vice versa. L'adaptation des algorithmes nécessiterait une calibration par des données de terrain collectées pendant le temps d'acquisition de l'imagerie.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 46
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Il est suggéré par [26] et [38] que le capteur Sentinel-2 MSI présenterait de nombreux avantages par rapport au capteur Landsat-7 ETM :

- a) le MSI possède plus de bandes, notamment dans le visible et le proche infrarouge (trois bandes à 700-800 µm).
- b) certaines des bandes MSI ont une résolution spectrale plus fine, comme les bandes verte, rouge et proche infrarouge.
- c) les résolutions spatiales du MSI sont de 10 m (4 bandes), 20 m (6 bandes) et 60 m (3 bandes) alors que toutes les bandes OLI (Operational Land Imager, un instrument de télédétection à bord de Landsat), ont une résolution spatiale unique de 30 m.

Dans la section suivante, les paramètres de qualité de l'eau sont décrits et les algorithmes utilisés sont mis en évidence. Dans la présente étude, nous nous référons à la turbidité pour décrire la qualité de l'eau, pour les raisons indiquées ci-dessus : Pour la turbidité il s'agit d'un paramètre optique directement obtenu des résultats des bandes spectrales respectives. Les autres paramètres sont plus difficiles à comparer entre les années 2002, 2015 et 2019, car les données nécessaires pour ces paramètres ont été collectées par différentes bandes du satellite. De plus, pour vérifier si les corrélations proposées dans la bibliographie sont applicables entre les paramètres optiques et non optiques, il serait nécessaire d'évaluer des échantillons d'eau, ce qui n'était pas prévu dans le cadre de la présente étude. Toutefois, nous indiquons ci-dessous non seulement la turbidité mais aussi d'autres paramètres et les bonnes pratiques disponibles dans la bibliographie pour leur corrélation.

#### 2.6.2.2 Turbidité

La turbidité, décrite comme l'opacité de l'eau [2], est une mesure de la capacité de la lumière à traverser l'eau. Elle est causée par des matières en suspension telles que l'argile, le limon, les matières organiques, etc.. Il existe d'importants impacts environnementaux en lien avec la turbidité, notamment [25]:

- Les matières en suspension peuvent obstruer ou endommager les branchies des poissons, diminuant ainsi leur résistance aux maladies, réduisant leur taux de croissance, affectant la maturation des œufs et des larves, et affectant l'efficacité des méthodes de capture ;

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 47
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- Les particules en suspension constituent un milieu d'adsorption pour les métaux lourds tels que mercure, chrome, plomb, cadmium et de nombreux polluants organiques dangereux tels que les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de nombreux pesticides ;
- En raison de l'élévation de la température de l'eau (les particules en suspension absorbent davantage la chaleur du soleil), la concentration d'oxygène dissous diminue et, par conséquent, la croissance des organismes aquatiques est plus lente et la nourriture disponible moindre.

Il existe plusieurs algorithmes permettant d'estimer la turbidité des eaux de surface à l'aide de méthodes de télédétection. Dans cette étude, la turbidité des eaux de surface est calculée en utilisant l'algorithme bien établi de l'indice de turbidité par différence normalisée (NDTI) tel que décrit par l'Équation 1 ci-dessous :

$$NDTI = \frac{ROUGE - VERT}{ROUGE + VERT} \quad (Eq.1)$$

Cet algorithme standard a été appliqué pour les trois basemap. L'indice NDTI est sans unité et a des valeurs comprises entre -1 et 1, où -1 indique la valeur de turbidité la plus faible et 1 la plus élevée.

L'indice NDTI à proximité de Bétaré Oya (zone connue pour ses importantes activités minières) est illustré pour chaque basemap à la Figure 17.

Les images indiquent :

- En 2002 : faibles valeurs de turbidité et contraste des eaux de surface. Pas d'activité minière.
- En 2015 : valeurs de turbidité élevées des eaux de surface. Activités minières intensives.
- En 2019 : amélioration des valeurs de turbidité en direction du sud-ouest. Forte activités minières en amont du barrage de Lom - Pangar. Lors du passage à travers le barrage , le limon se dépose et la qualité de l'eau s'améliore.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 48
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

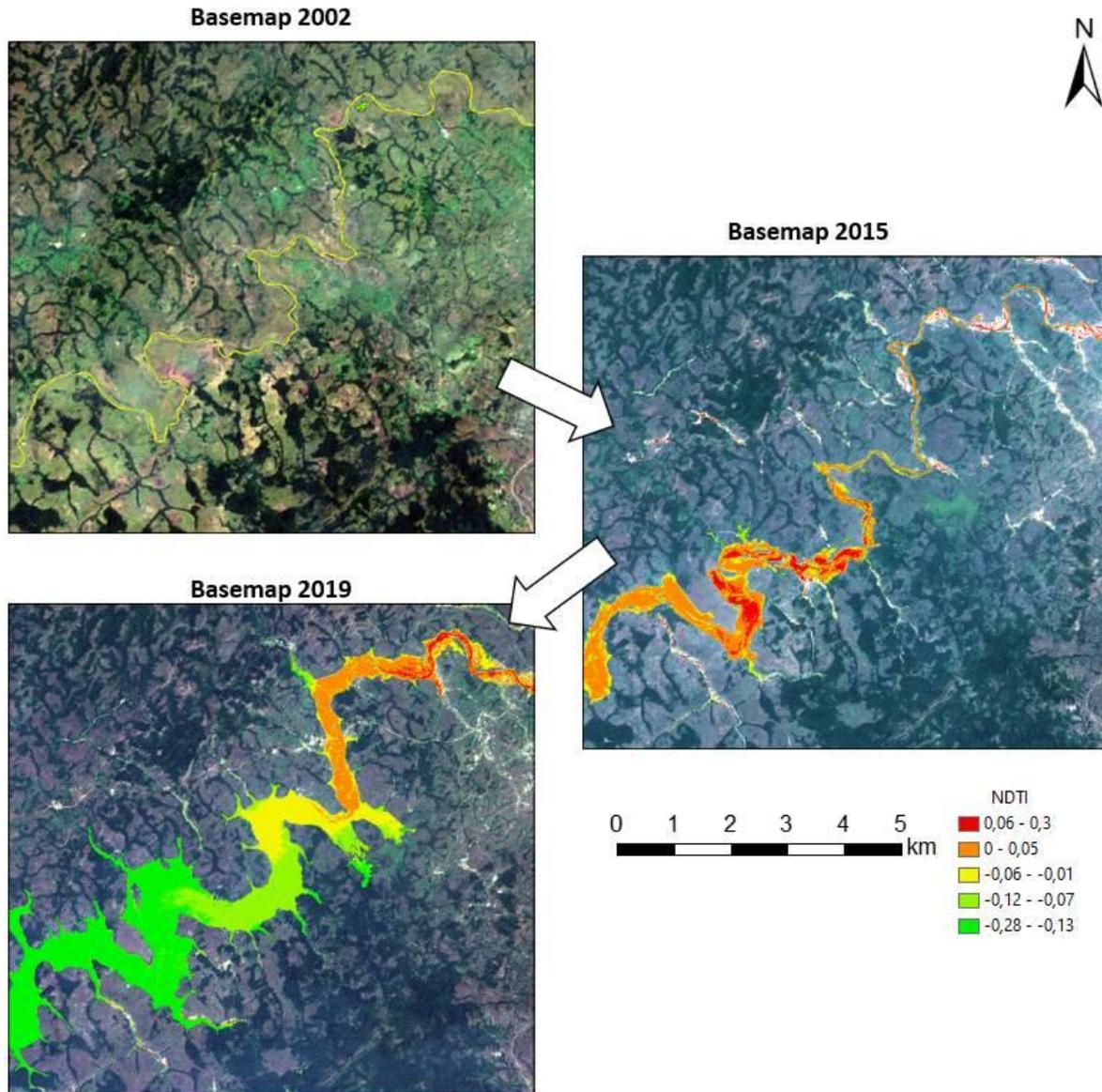


Figure 17 Indice de turbidité à proximité de Betare Oya pour chaque basemap. Les couleurs rouge-vert représentent des valeurs de turbidité forte à faible, respectivement.

Un autre exemple est présenté à la Figure 18 pour les rivières Doumé et Kadeï :

En 2002, la qualité de l'eau est bonne, aucune opération minière ;

En 2015, en raison des opérations minières en amont, la qualité de l'eau diminue dans la rivière de la Kadeï ;

En 2019, le processus se poursuit, et la qualité de l'eau continue de diminuer ;

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 49
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



La qualité de l'eau de la Doumé reste bonne dans toutes les tranches de temps.

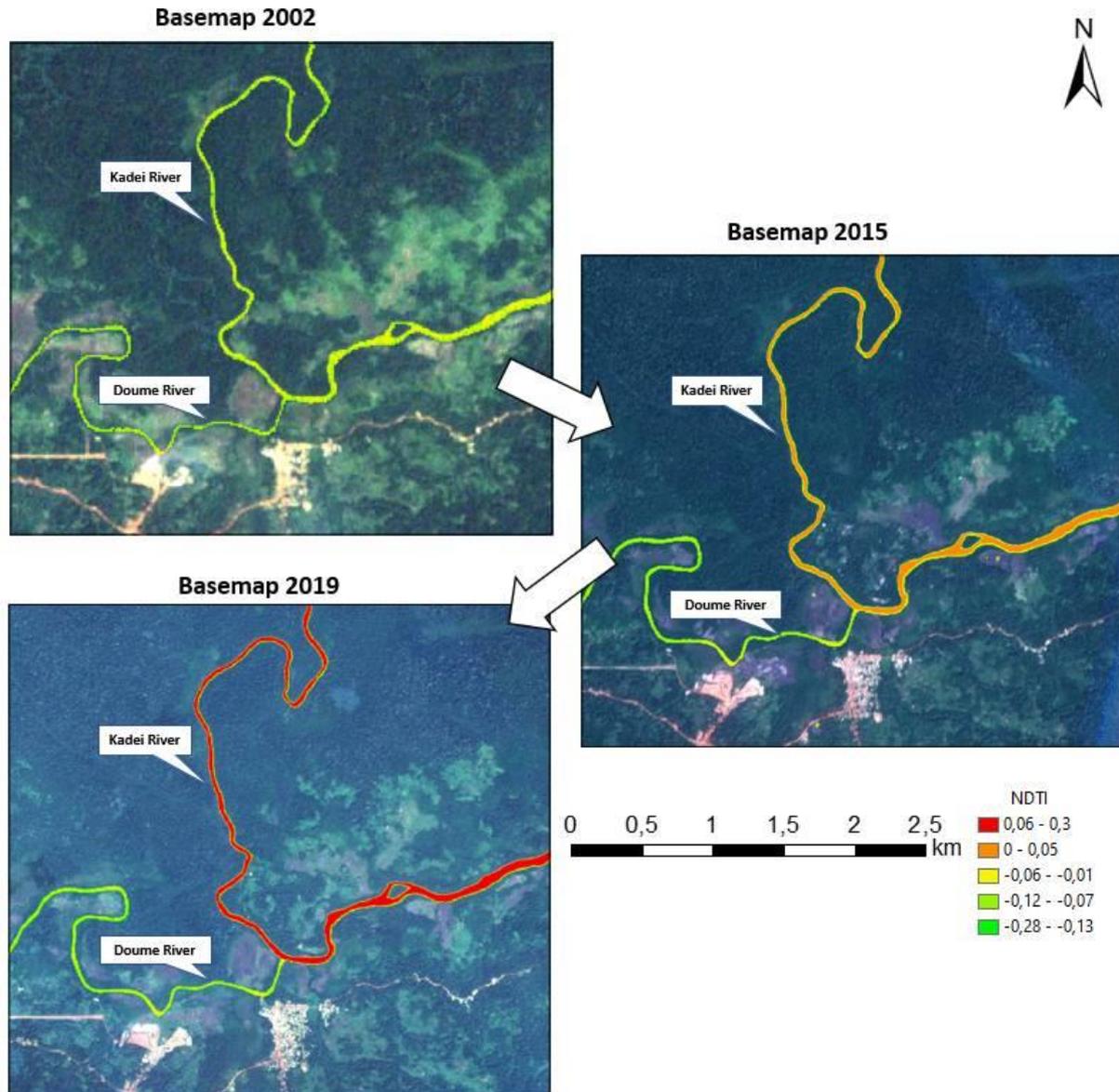


Figure 18 Indice de turbidité dans les rivières Doumé et Kadeï pour les années 2002, 2015 et 2019.

L'analyse de détection des changements de turbidité de l'eau présentée à la Figure 19 confirme ces conclusions. Cette évolution est en corrélation avec l'intensité des activités minières le long de la rivière Kadeï (voir Figure 18). La qualité de l'eau de la rivière Doumé reste inchangée tout au long de la période d'étude.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 50
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Certains artefacts au niveau de la rivière Doumé sont dus à la faible résolution spatiale des images Landsat.

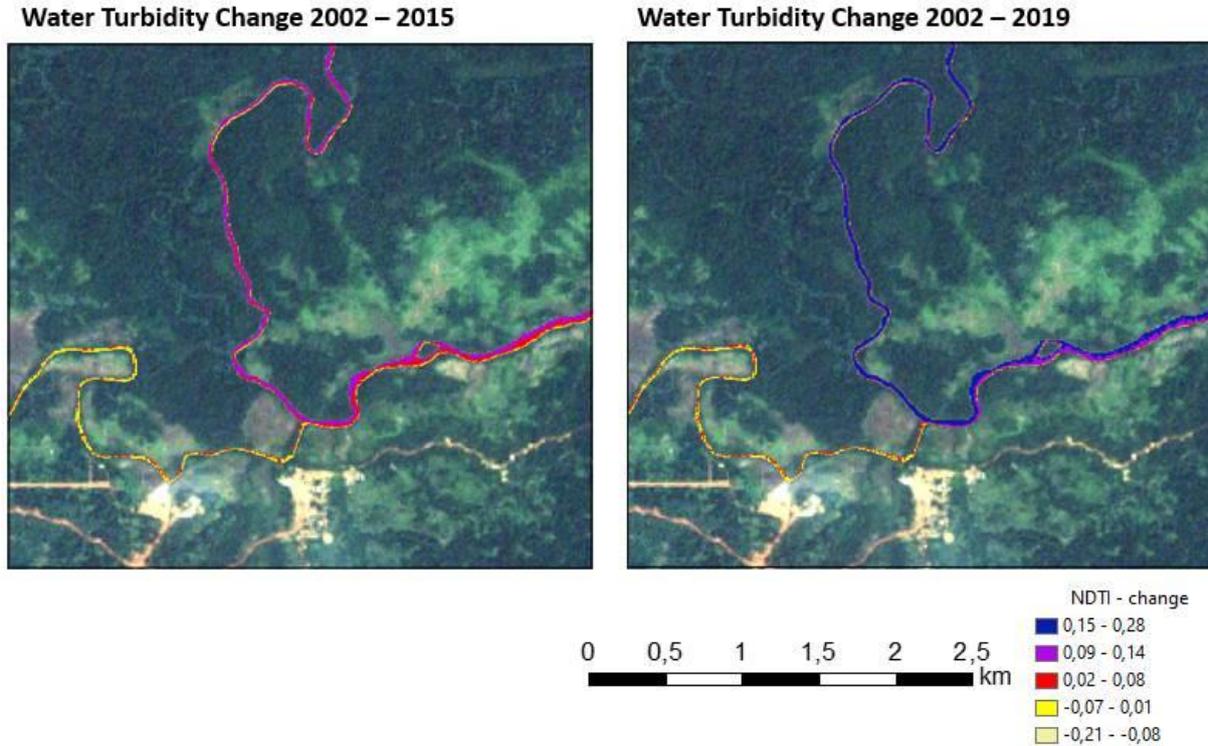


Figure 19 Analyse des changements de l'indice de turbidité. Les couleurs bleu-jaune représentent des valeurs de turbidité hautes à basses respectivement.

Les Figure 20 et Figure 21 montrent des sites miniers le long de la rivière du Lom au niveau de l'embouchure de la rivière Fel, situé à proximité des villages Gbatoua et Kombo Laka. Ici, de nombreux bassins avec différentes qualités d'eau peuvent être observés dans un paysage syn- à post-minier. L'image RVB (Figure 20a) représente les eaux de surface avec différentes intensités de couleurs. L'indice de turbidité (Figure 20b) permet de séparer clairement l'eau douce de l'eau polluée et, ainsi, d'indiquer les zones d'exploitation minière actives et arrêtées.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 51
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

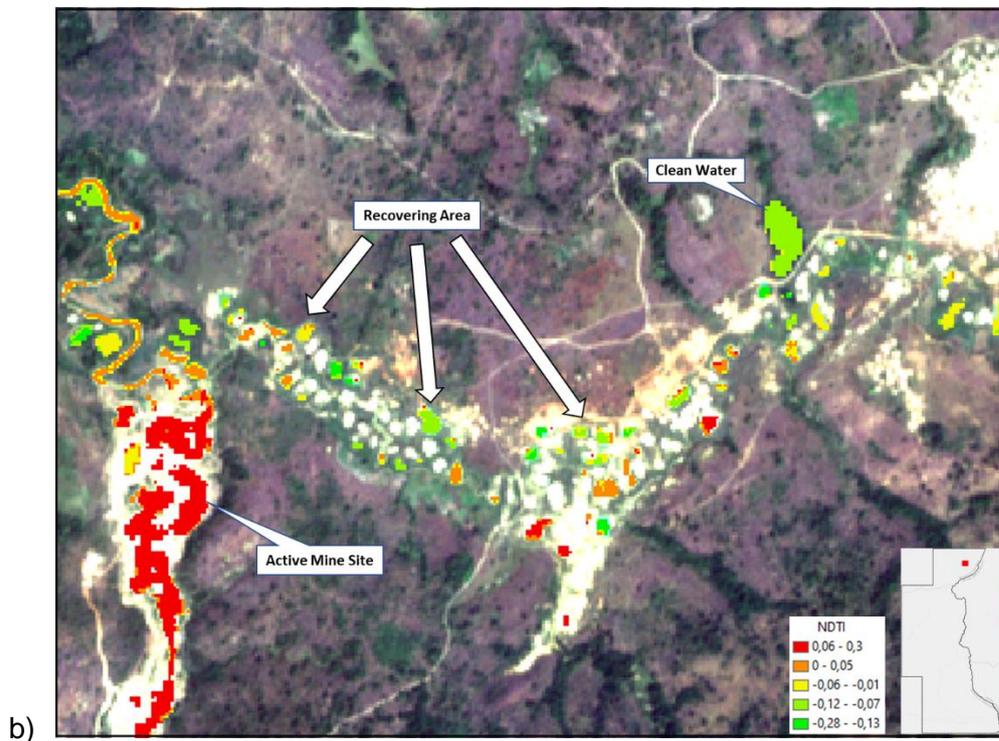
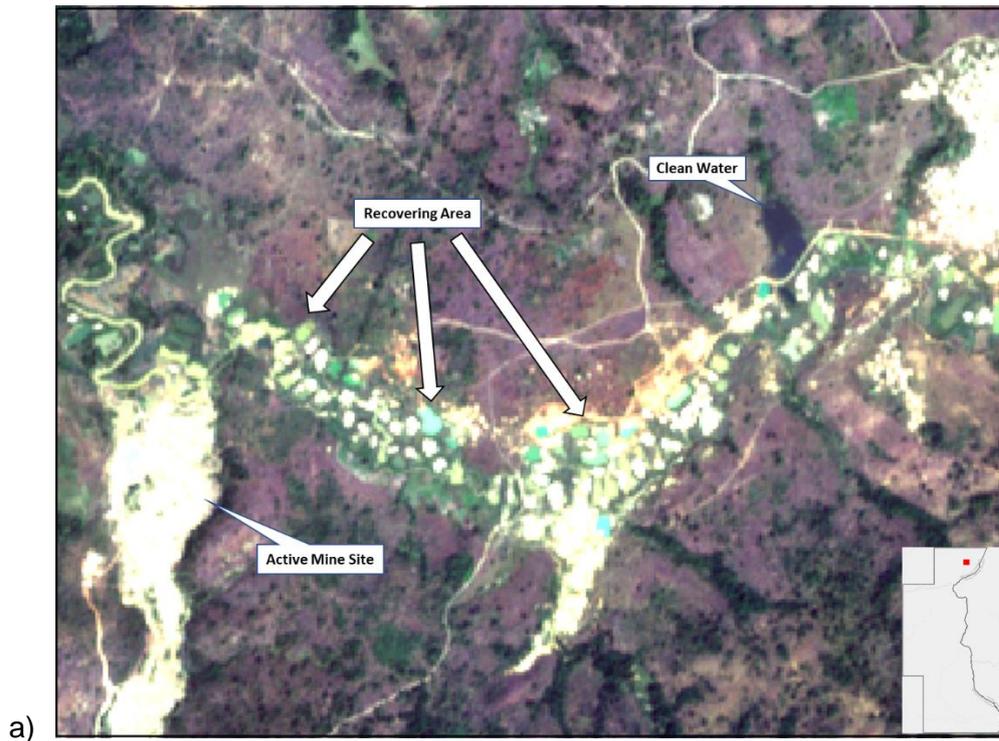


Figure 20 Indice de turbidité dans le Lom à l'embouchure de la rivière Fel à l'est de Meiganga en 2019; a) Image RVB, b) Indice de turbidité des eaux de surface.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 52
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

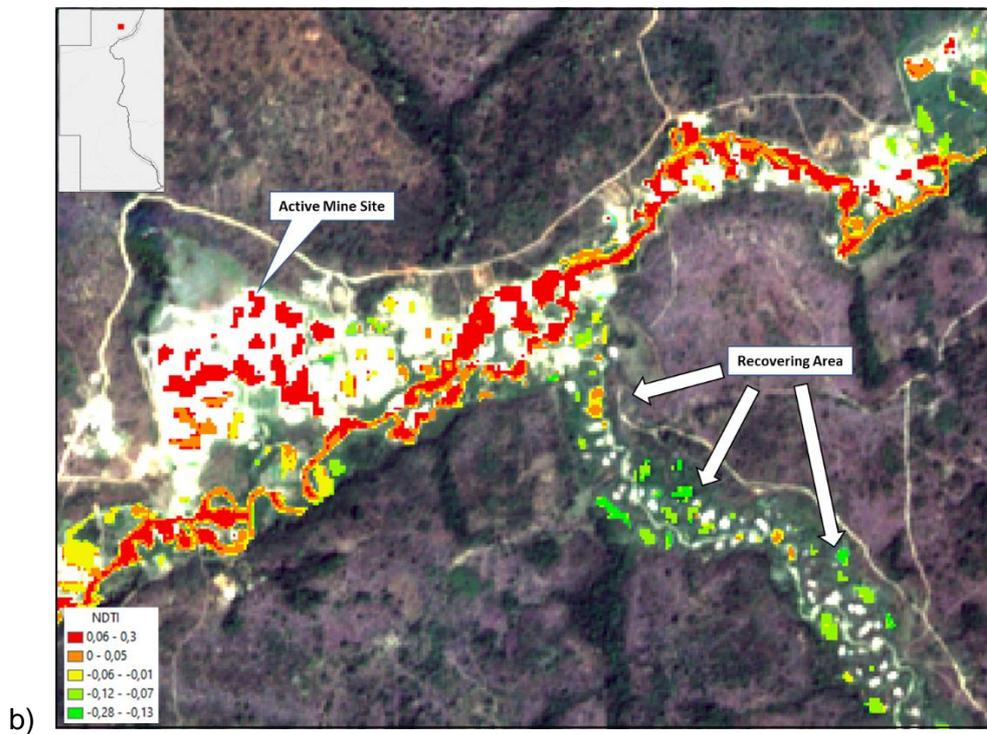


Figure 21 Indice de turbidité dans le Lom à l'est de Meiganga en 2019; a) Image RVB, b) Indice de turbidité des eaux de surface.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 53
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

### 2.6.2.2.3 Total des Solides en Suspension (TSS)

Le paramètre TSS est lié à la turbidité, comme le montre la Figure 22. Les tailles respectives des particules se chevauchent partiellement : le TSS inclut les plus grosses particules mais aussi les solides décantables, tandis que la turbidité inclut les plus petites particules, les bactéries, mais également les grosses molécules organiques (par exemple les acides humiques et les colorants).

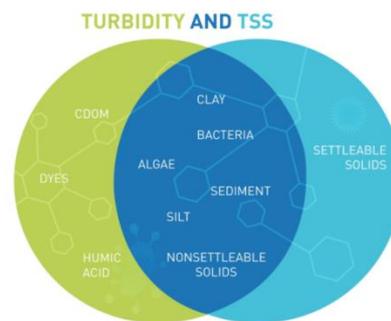


Figure 22 Relation entre la turbidité et le total des solides en suspension - TSS.

Par conséquent, l'aspect des masses d'eau est généralement similaire, sauf dans certains cas où l'on peut avoir par exemple des acides humiques sans aucun solide en suspension (e.g., eau trouble des marais).

L'imagerie Sentinel-2 (produit de niveau 2A) permet l'estimation qualitative des TSS dans les eaux de surface en utilisant l'algorithme proposé par [19] :

$$TSS = 2.272 + (ROUGE / 2.468) * 2.154. \quad (Eq.2)$$

Dans la zone d'étude, les paramètres TSS et turbidité sont similaires : ils indiquent les activités minières.

La Figure 23 montre trois exemples de TSS pour l'année 2019. Les faibles valeurs de TSS indiquent des zones d'eau propre en lien avec des paysages non modifiés. Les valeurs de TSS élevées indiquent des activités minières.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 54
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

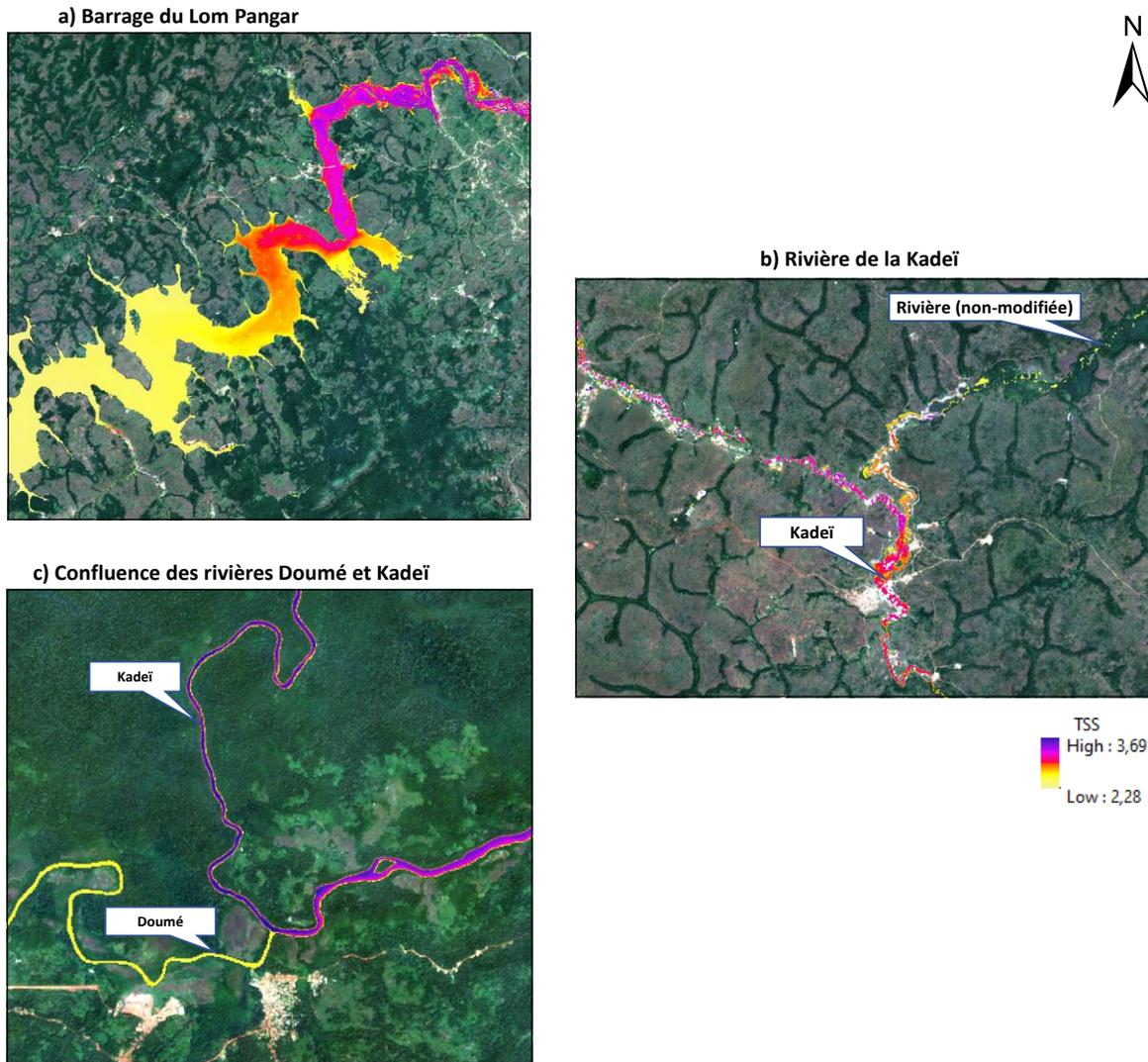


Figure 23 TSS dans trois zones différentes (2019).

#### 2.6.2.2.4 Chlorophylle-A (Chl-A)

Le pigment photosynthétique Chl-A est un indicateur clé de la présence ou de l'absence de biomasse phytoplanctonique dans l'eau. L'estimation du Chl-A est essentielle pour la surveillance de la qualité de l'eau [34]. Certaines espèces de phytoplancton peuvent causer de graves problèmes environnementaux et de santé publique [25]. Plusieurs études ont étudié la chlorophylle-A dans l'eau de surface comme indicateur de la pollution de l'eau liée à l'exploitation minière [1]. Dans la présente étude, l'algorithme proposé par [34] a été utilisé :

$$Chla = 169 * (b05 - (b04 + b06) / 2) + 19.5 \quad (Eq.4)$$

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 55
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



La Figure 24 montre une carte de Chl-A pour 2019.

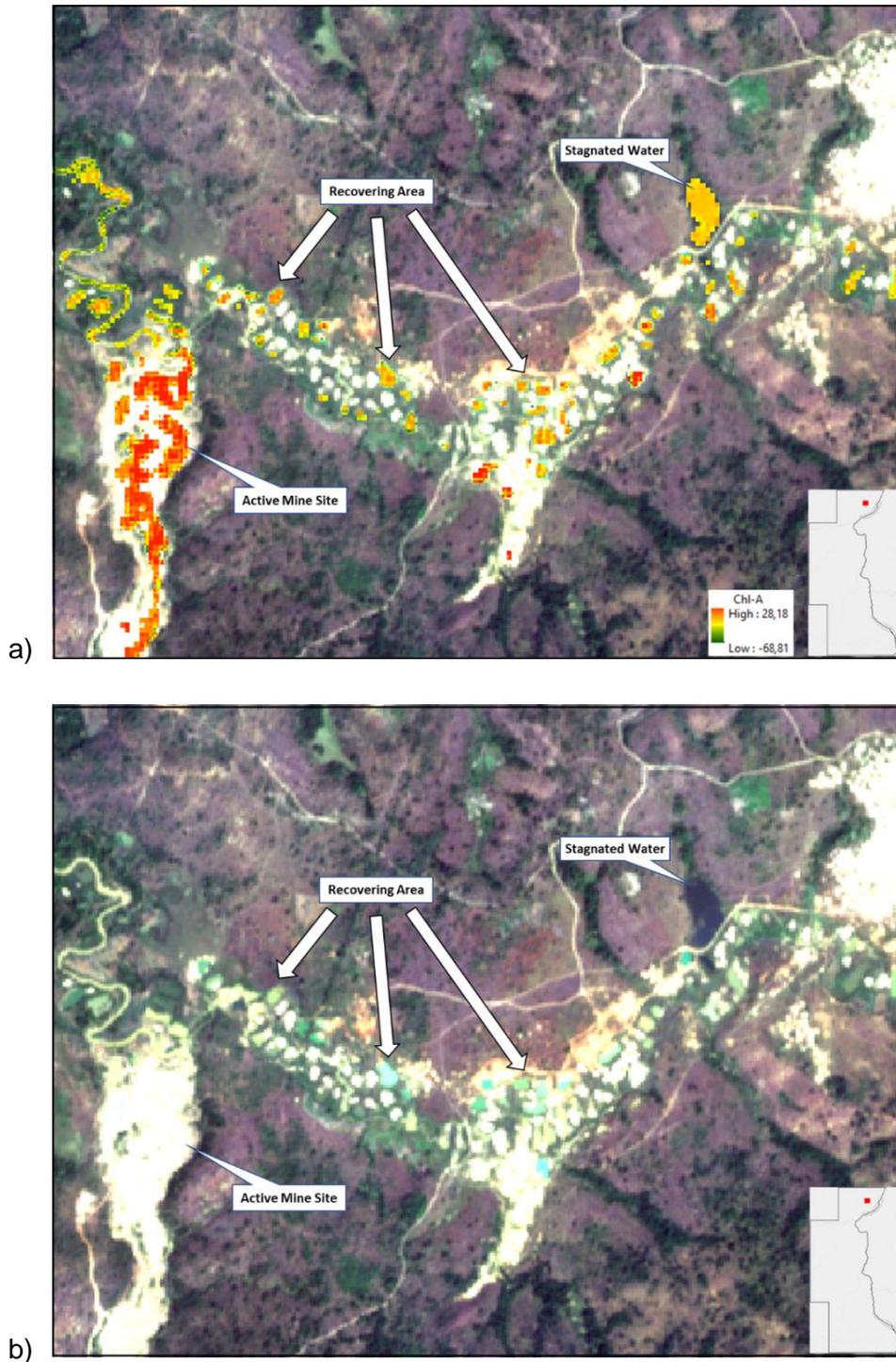


Figure 24 Indice de chlorophylle-A dans le Lom à l'embouchure de la rivière Fel en 2019; a) Image RVB, b) Indice de chlorophylle-A des eaux de surface.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 56
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Les eaux courantes avec de faibles valeurs de Chl-A peuvent être clairement distinguées des eaux stagnantes dans les petits étangs d'eau avec des valeurs de Chl-A plus élevées. Les sites d'exploitation minière actifs sont indiqués par des valeurs de Chl-A élevées. Cela peut être lié à des modèles spectraux similaires à ceux des TSS et/ou de la turbidité.

### 2.6.2.2.5 pH

Le pH est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau. Il est sans dimension et indique l'acidité de l'eau. Le pH varie de 0 à 14, les valeurs < 7 indiquant un pH acide tandis que les valeurs > 7 indiquent un pH basique. Les valeurs de pH acceptées pour l'eau potable se situent entre 6,5 et 8,5 [37]. De nombreuses études différentes tentent d'établir des relations entre le pH et les données de télédétection multispectrales. Certaines études suggèrent qu'il n'y a pas de corrélation entre le pH et les modèles spectraux et que, par conséquent, les données de télédétection ne sont pas adaptées à la cartographie du pH [39]. D'autres études suggèrent que l'estimation du pH avec des données de télédétection nécessite la bande thermique [17].

Une autre étude a analysé différents composants optiquement non actifs (comme le pH, l'oxygène-dissous, la conductivité, etc.) et suggère des corrélations entre les bandes spectrales du capteur MSI Sentinel-2 et le pH [26]. L'équation de corrélation correspondante est :

$$pH = 12.2621 + (-246.4698 * B1) + (29.4987 * B3) + (300.0727 * B6) + (-140.2648 * B8) \quad (Eq.7)$$

Cette équation a été appliquée pour les besoins de l'étude. Comme elle prend en compte la bande B1 (avec une résolution spatiale originale de 60 m), des artefacts sont attendus au niveau des petits plans d'eau, ainsi qu'au niveau des rives.

La Figure 25 montre trois exemples de cartes d'interprétation du pH des eaux de surface extraites de la Basemap 2019. Les résultats semblent être corrélés à un certain degré avec les paramètres TSS et turbidité, et sont généralement difficiles à comprendre et à interpréter. En raison de la petite taille des plans d'eau, la résolution optique de 60 m de la bande B1 utilisée conduit à un mélange des motifs spectraux sur les rives également.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 57
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



En raison de ces incertitudes, nous n'utilisons pas les valeurs de pH cartographiées dans cette étude.

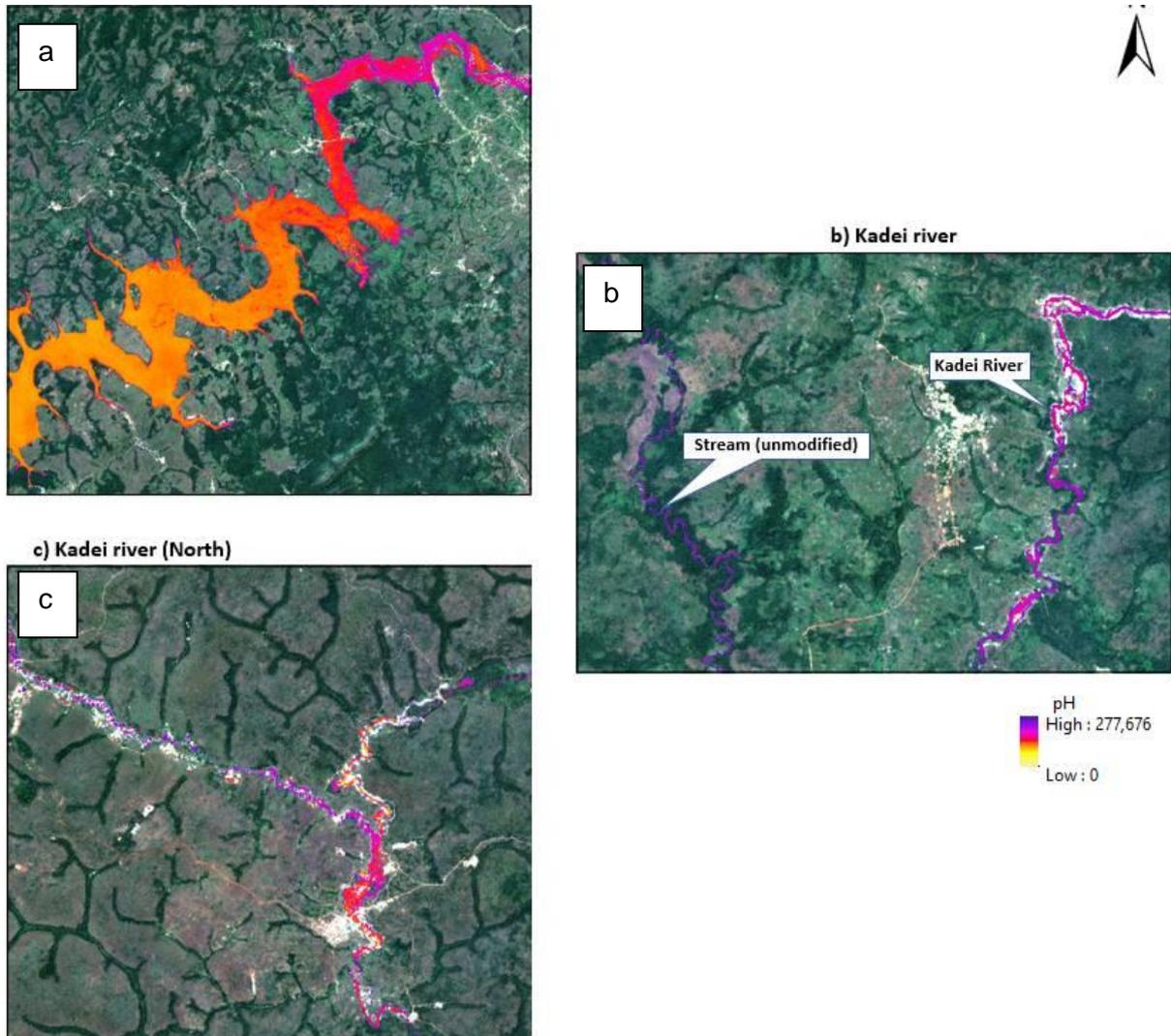


Figure 25 Interprétation du pH dans trois zones différentes pour la Basemap 2019. a) Barrage de Lom-Pangar, b) zone de Ngoura avec la Kadeï en aval de Colomines, c) zone amont de la Kadeï

#### 2.6.2.2.6 Oxygène Dissous (OD)

L'OD est considéré comme un paramètre clé de la qualité de l'eau : plus la concentration en oxygène dissous est élevée, meilleure est la qualité de l'eau. Comme les autres paramètres

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 58
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



optiquement non actifs, il est difficile de le calculer en utilisant uniquement des données de télédétection sans aucune étude de terrain. Il existe quelques données dans la littérature pour le calcul de l'OD.

Dans cette étude, nous utilisons l'algorithme développé par [26] :

$$9.2505 + (-171.0251 * B2) + (236.9708 * B4) + (76.8288 * B6) + (-150.7815 * B11) \quad (\text{Eq.6})$$

La Figure 26 montre trois exemples de cartes d'OD dans les eaux de surface extraites à partir de la Basemap 2019. On trouve généralement des teneurs élevées en OD dans les eaux vives : rivières, ruisseaux, etc. Les lacs, les réservoirs et les eaux stagnantes se caractérisent principalement par une teneur en oxygène dissous plus faible. La teneur élevée en OD dans les étangs de certains sites miniers actifs pourrait indiquer des activités d'éclusage. Mais l'interprétation de ce paramètre reste floue sans données d'apprentissage sur le terrain.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 59
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

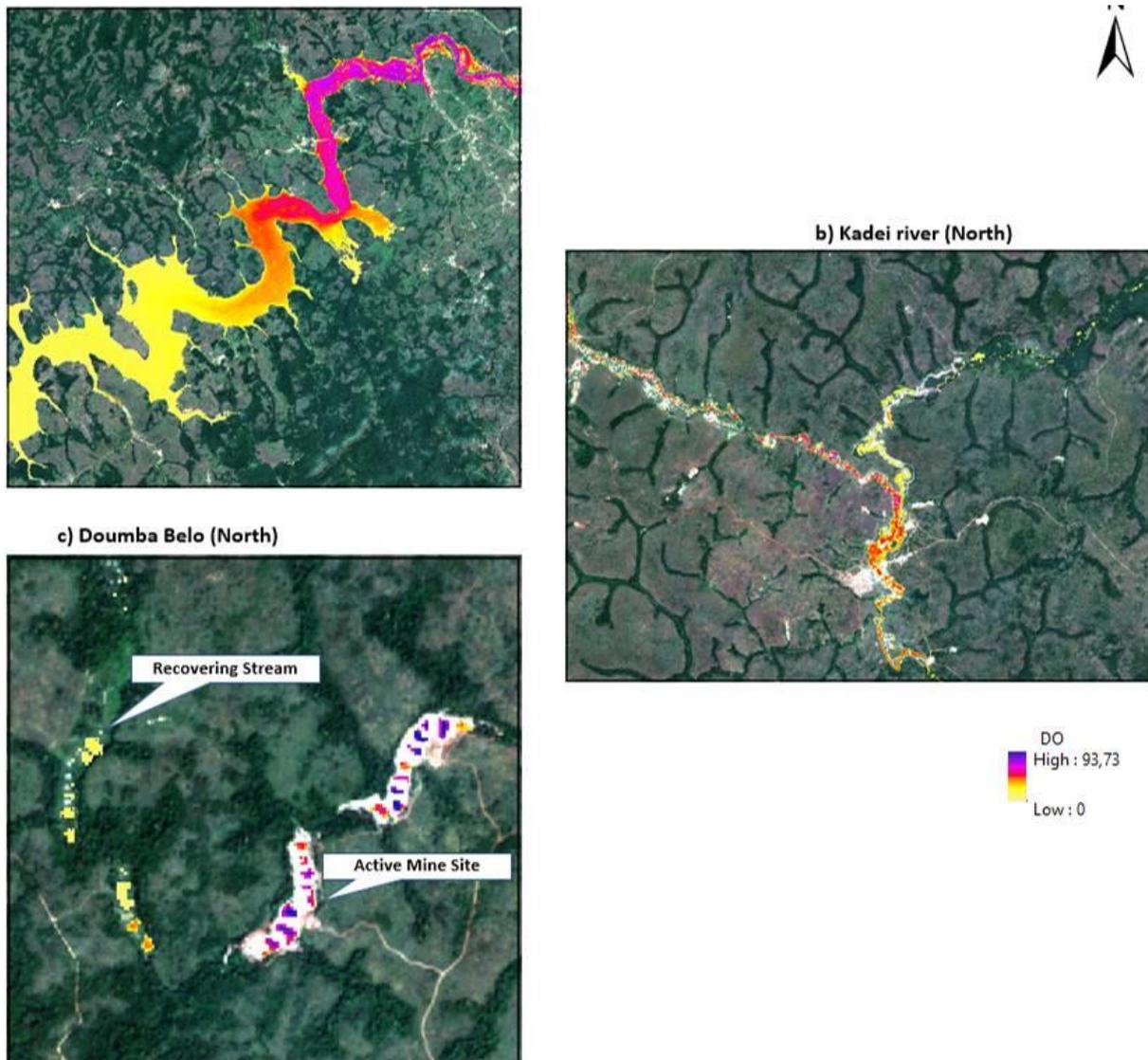


Figure 26 Aperçu schématique de l'OD dans trois zones différentes pour la Basemap 2019. a) Barrage de Lom-Pangar, b) zone amont de la Kadeï, c) zone du village Doumba avec les rivières Bongone (« recovering stream ») et Limboka (« active mine site »).

### 2.6.3 Cartographie des zones de l'occupation des terres

Les cartes de l'occupation des terres fournissent une source d'information unique sur la couverture terrestre / l'utilisation des terres et sont importantes pour en déduire des informations sur le développement des différents types. Les cartes de l'occupation des terres

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 60
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



sont analysées séparément pour chaque basemap pour 2002, 2015 et 2019. Dans cette étude, huit classes d'occupation des terres ont été analysées (voir Tableau 7).

La classification de l'occupation des terres est réalisée à l'aide de l'algorithme des forêts aléatoires (*Random Forests*), une approche de classification supervisée. Le classificateur *Random Forest* s'est avéré garantir une grande précision de classification et de très bonnes performances par rapport à d'autres algorithmes (e.g., forêts aléatoires, arbres décisionnels, etc.) [28]. En outre, la méthode est efficace sur le plan informatique sur de grands jeux de données et présente les avantages d'une précision de classification élevée sans surajustement, ainsi que la possibilité de mesurer la variation des poids attribués [15].

Tableau 7 Classes d'occupation et d'utilisation des terres utilisées pour la cartographie

Occupation des terres	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eau (rivières, réservoirs, lacs...)</li> <li>- Zones dénudées / Habitations ou bâtiments isolés / Roches affleurantes</li> <li>- Forêts</li> <li>- Végétation Basse / Agriculture</li> <li>- Savanne</li> <li>- zones brûlées</li> </ul>
Utilisation des terres	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zone Urbaine</li> <li>- Zone Minière</li> </ul>

L'algorithme de classification pour la cartographie de l'occupation des terres a été implémenté en JavaScript dans la plateforme de calcul cloud du moteur Google Earth.

Cependant, les classes d'utilisation (zones urbaines et minières) sont classifiées à l'aide de la base de données OSM et d'une vérification visuelle, car elles ont des signatures de réflectance spectrale très similaires et ne peuvent donc pas être détectées automatiquement.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 61
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 2.6.3.1 Cartographie de l'occupation des terres basée sur les Basemaps Sentinel-2

La cartographie de l'occupation des terres pour 2015 et 2019 est basée sur les basemaps Sentinel-2 sans nuage (voir section 2.6.1). Les images multispectrales Sentinel-2 comprennent 10 canaux bruts (bandes 10 m et 20 m). De plus, des indices spectraux ont été dérivés des bandes de réflectance brutes pour augmenter la probabilité de séparation des classes et améliorer le résultat de la classification. Ils sont résumés dans le Tableau 8.

Ces indices ont été téléchargés à partir du site *Indexdatabase* (<https://www.indexdatabase.de/>) et adaptés pour être utilisés avec les bandes spectrales de Sentinel-2.

Tableau 8 Indices spectraux, description et formule.

Indice	Description	Formule
NDVI	Indice de végétation par différence normalisée - IVDN (Normalized Difference Vegetation Index) Indice de végétation par différence normalisée	$(b8-b4) / (b8+b4)$
MNDWI	Indice modifié de l'eau par différence normalisée (Modified Normalized Difference Water Index)	$(b3-b11) / (b3+b11)$
CCCI	Indice de concentration en chlorophylle dans le couvert (Canopy Chlorophyll Content Index)	$(b8a-b5) / (b8a+b5)$
RVI	Indice de rapport de végétation (Ratio Vegetation Index)	$b8 / b4$
GNDVI	Indice de la végétation verte par différence normalisée (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(b8-b3) / (b8+b3)$
BI	Indice du sol dénudé (Bare Soil Index)	$(b8 + b3 + b4) / (b8 + b3 - b4)$

L'algorithme de forêt aléatoire pour les basemap Sentinel-2 a été conçu à l'aide de :

- 6 classes d'occupation des terres : Eau, Zone Dénudée / Habitations ou bâtiments isolés / Roches affleurantes, Forêt, Végétation Basse / Agriculture, Savane, Zone Brûlée (Tableau 7),
- 16 paramètres de contrôle : 10 canaux bruts (bandes 10 m et 20 m (Tableau 3) et 6 indices spectraux (Tableau 8),

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 62
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- 10 arbres de classification.

### 2.6.3.2 Cartographie de la couverture végétale basée sur les basemaps Landsat-7

La cartographie de la couverture terrestre / occupation des terres est basée sur les basemaps Landsat-7 sans nuage créées comme décrit à la section 2.6.1. Les images multispectrales de Landsat-7 comprennent 6 canaux bruts (les canaux thermiques TIR (Thermal Infra-red) L/H sont exclus). De plus, les indices spectraux décrits au Tableau 8, à l'exception du CCCI, ont été adaptés pour être utilisés avec les bandes spectrales de Landsat-7 en fonction des canaux disponibles et de leur applicabilité. En raison du manque de bandes spectrales dans la gamme VRE (Vegetation Red Edge – correspondant aux bandes B05, B06 et B07 du Sentinel-2), le CCCI n'est pas applicable.

L'algorithme de forêt aléatoire (Random Forest) pour le basemap Landsat-7 été conçu en utilisant :

- 6 classes de couverture terrestre / occupation des terres: Eau, Zone dénudée / Établissements ou bâtiments isolés / Roches exposées, Forêt, Végétation basse / Agriculture, Savane, Zone brûlée (Tableau 7),
- 11 paramètres de contrôle : 6 bandes brutes (Tableau 3) et 5 indices spectraux (Tableau 8),
- 10 arbres de classification (classification trees).

### 2.6.3.3 Collecte des données d'apprentissage

Pour chaque Basemap, des objets d'apprentissage représentatifs pour chaque classe d'occupation des terres ont été collectés et enrichis de manière itérative. Les statistiques du Tableau 9 indiquent le nombre et la surface des objets d'apprentissage collectés pour chaque classe d'occupation des terres et chaque basemap.

Le nombre d'objets d'apprentissage pour les classes d'occupation des terres "Forêt" et "Végétation basse / Agriculture" est significativement plus élevé que pour les autres classes.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 63
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



La séparation de ces classes est particulièrement difficile, lorsqu'elle est basée uniquement sur les caractéristiques spectrales et qu'aucun modèle de surface / terrain n'est disponible.

*Tableau 9 Nombre et surface des objets d'apprentissage représentatifs de chaque classe d'occupation des terres*

	Basemap 2002		Basemap 2015		Basemap 2019	
	Nombre	Surface (ha)	Nombre	Surface (ha)	Nombre	Surface (ha)
Eau	15	26,76	19	102,4	9	490,97
Surface dénudée / habitations ou bâtiments isolés / roches exposées	9	63,81	7	66,24	9	104,00
Forêt	176	1435,45	109	2378,14	103	1234,5
Végétation basse / agriculture	109	449,63	50	146,91	111	297,45
Savanne	99	1896,62	73	970,37	65	595,09
Surfaces brûlées	10	111,8	21	105,41	18	76,3

Les classifications basées uniquement sur les données de réflectance spectrale sont affectées par les variations phénologiques de la végétation. Par conséquent, la classification reflète surtout l'état réel de l'occupation des terres pendant la période d'acquisition de l'imagerie satellitaire. Par exemple, dans certains intervalles de temps, il peut arriver que la savane soit couverte d'une végétation basse naturelle. Cela peut induire en erreur l'algorithme pendant la décision pour la classe correcte d'occupation des terres. Afin de minimiser l'effet des variations phénologiques :

- Plusieurs objets d'apprentissage ont été collectés pour les classes de l'occupation des terres concernées : "Savane", "Forêt" et "Végétation basse / Agriculture". Ceci se reflète dans le nombre et la surface des objets d'apprentissage correspondants, qui sont significativement plus élevés que ceux collectés pour les autres classes ;



- L'imagerie satellite sélectionnée est acquise pendant des saisons et des périodes de végétation similaires.

#### 2.6.3.4 Résultat de la classification et importance des variables

La précision de classification est améliorée de manière itérative en enrichissant le jeu de données d'apprentissage après validation de chaque classification. Les cartes de classification ont été affinées et régularisées à l'aide de l'outil "*Classification Map Regularization*" d'Orfeo Toolbox. L'outil permet de supprimer les pixels isolés et de structurer les caractéristiques dans un rayon donné (dans ce cas, un rayon de 5 pixels a été appliqué, ce qui correspond à des caractéristiques d'une superficie de 500 m<sup>2</sup>). Afin de valider les résultats finaux, des matrices de confusion sont réalisées. Les matrices de confusion permettent de mesurer la qualité de classification des systèmes d'apprentissages automatiques supervisés. Ainsi dans la présente étude, les résultats sont validés grâce à une matrice de confusion de la carte de classification par rapport à un jeu de données de vérification de terrain (*ground truthing dataset*). Ce jeu de données a été initialement compilé à des fins d'apprentissage et est validé avec des basemaps *Planet* à haute résolution (voir section 2.5.2).

La matrice de confusion est organisée comme suit : lignes = classes de référence (reference labels), colonnes = classes modélisées (modelled labels). Les chiffres font référence au nombre de pixels classés (1 pixel = 100 m<sup>2</sup>). Les matrices de confusion résultantes pour les basemaps sont illustrées au Tableau 10, Tableau 11 et Tableau 12.

La diagonale indique le nombre de pixels classés positifs (vrais). Globalement, le pourcentage de pixels classés positifs/vrais montre une très bonne précision de classification et une bonne séparabilité des classes. Nous constatons dans les trois classifications la similarité entre les classes "Forêt" et "Végétation basse / Agriculture". Les tableaux reflètent comment les variations phénologiques locales influencent la différenciation entre les classes "Basse végétation / Agriculture" et "Savane".

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 65
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



**Tableau 10** Matrice de confusion pour la cartographie de l'occupation des terres, Basemap 2002.

	Eau	Surfaces dénudées / zones habitées	Forêt	Basse végétation, agriculture	Savane	Surface brûlée	Total	% des pixels vrais positifs
Eau	2651	0	0	0	0	0	2651	100,00
Surfaces dénudées / zones habitées	0	6386	0	0	0	0	6386	100,00
Forêt	0	0	142568	38	941	0	143547	99,32
Basse végétation, agriculture	0	0	37	44839	79	0	44955	99,74
Savane	0	0	0	0	189692	0	189692	100,00
Surface brûlée	0	0	0	0	0	11178	11178	100,00

**Tableau 11** Matrice de confusion pour la cartographie de l'occupation des terres, Basemap 2015.

	Eau	Surfaces dénudées / zones habitées	Forêt	Basse végétation, agriculture	Savane	Surface brûlée	Total	% des pixels vrais positifs
Eau	10179	0	55	0	0	0	10234	99,46
Surfaces dénudées / zones habitées	0	6626	0	0	0	0	6626	100,00
Forêt	0	0	237856	1	32	0	237889	99,99
Basse végétation, agriculture	0	0	256	14090	328	0	14674	96,02
Savane	0	0	0	144	96884	0	97028	99,85
Surface brûlée	0	0	0	0	193	10354	10547	98,17



Tableau 12 Matrice de confusion pour la cartographie de l'occupation des terres, Basemap 2019.

	Eau	Surfaces dénudées / zones habitées	Forêt	Basse végétation, agriculture	Savane	Surface brûlée	Total	% des pixels vrais positifs
Eau	49094	0	3	0	0	0	49097	99,99
Surfaces dénudées / zones habitées	0	10403	0	0	0	0	10403	100,00
Forêt	0	0	123374	0	37	0	123411	99,97
Basse végétation, agriculture	0	0	5198	23551	974	0	29723	79,23
Savane	0	0	0	40	59419	84	59543	99,79
Surface brûlée	0	0	0	0	5	7632	7637	99,93

L'approche de classification *Random Forest* a la capacité de mesurer les poids variables des paramètres de contrôle. Les graphiques correspondants pour les basemaps sont illustrés dans les Figure 27, Figure 28 et Figure 29. Ces graphiques décrivent des tendances de poids similaires des paramètres de contrôle, ce qui confirme la stabilité de l'algorithme d'apprentissage. Par exemple, le canal de la bande bleue, suivi des canaux SWIR, présente des pondérations manifestement plus élevées par rapport aux autres canaux bruts. Parmi les indices, le MNDWI montre le poids le plus élevé, tandis que NDVI semble avoir la contribution la plus faible pour la séparabilité des classes.

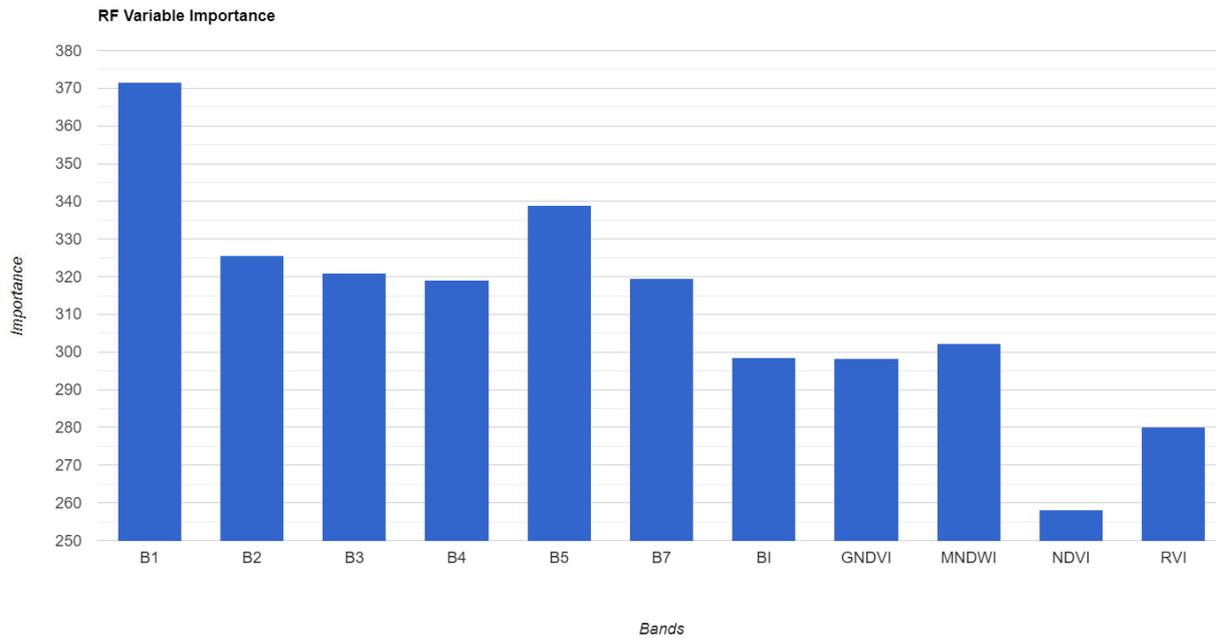


Figure 27 Pondération des variables pour la classification de l'occupation des terres pour la Basemap 2002, en utilisant l'imagerie Landsat-7

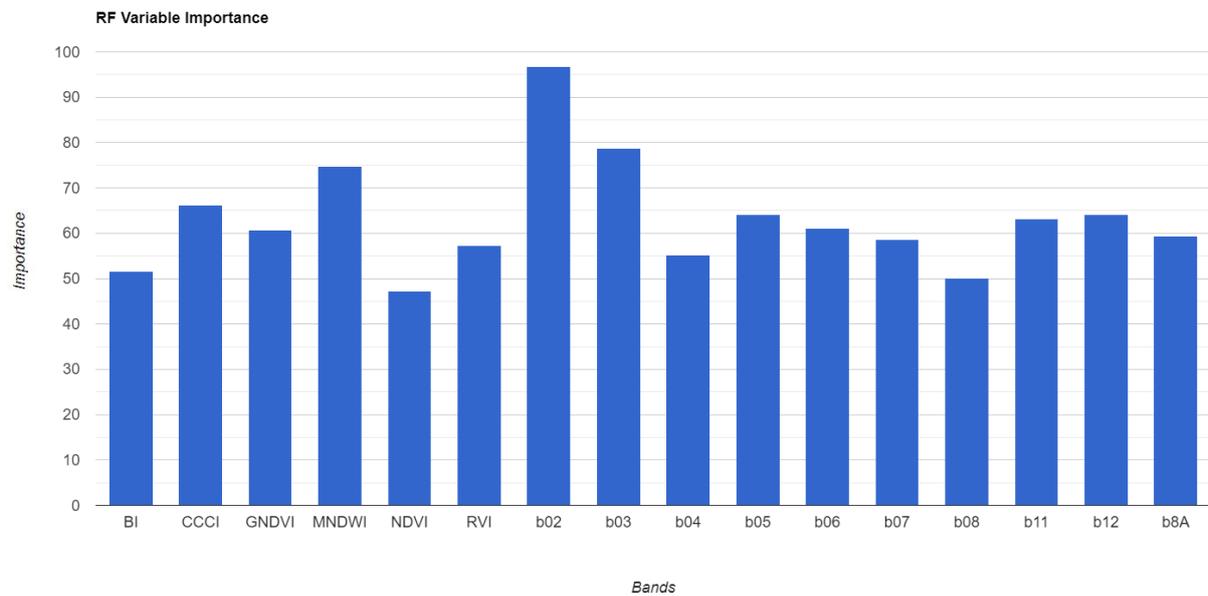


Figure 28 Pondération des variables pour la classification de l'occupation des terres pour la Basemap 2015, en utilisant l'imagerie Sentinel-2

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 68
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

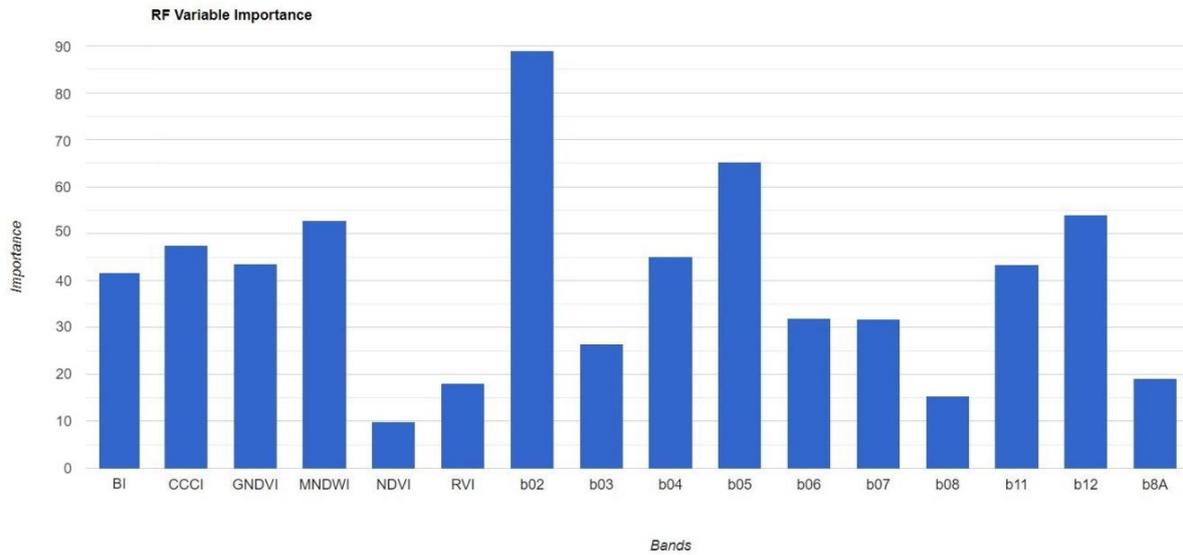


Figure 29 Pondération des variables pour la classification de l'occupation des terres pour la Basemap 2019, en utilisant l'imagerie Sentinel-2

Les informations sur les zones urbaines ont été ajoutées à la carte d'occupation des terres par interprétation visuelle de l'imagerie satellite. Les informations sur les sites miniers ont été ajoutées manuellement à la carte d'occupation des terres, après validation complète de la carte des sites miniers selon la section 2.5.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 69
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 3 Travail de terrain

#### 3.1 Objectifs

Le travail de terrain réalisé du 6 au 15 juillet 2021 a conclu la 3ème étape du chronogramme d'activités. Ses principaux objectifs étaient les suivants

- valider les caractéristiques importantes cartographiées par télédétection : Les types de couverture du sol en général et les sites miniers, en particulier :
  - i. les sites miniers artisanaux et semi-mécanisés actifs : Connaissance du type de minerai exploité et du contexte géologique, connaissance des méthodes de traitement des minerais.
  - ii. identification des menaces pour l'environnement
  - iii. connaissance des facteurs sociaux auxquels font face les populations (exploitants artisanaux, villageois et opérateurs).
  - iv. les sites miniers abandonnés, pour l'observation de la végétation qui a ou n'a pas récupéré
- prendre note des aspects environnementaux et sociaux que les activités minières impliquent pour la population et l'administration locales ainsi que pour les exploitants eux-mêmes.
- Collecter des informations pour formuler des recommandations sur les mécanismes et procédures institutionnels et réglementaires de gestion des dommages causés par les activités minières ;
- Évaluer le coût du passif environnemental et social de ces dégradations et proposer des techniques de réhabilitation à mettre en œuvre.
- Réunions/entretiens avec les autorités départementales et régionales et les chefs traditionnels des villages.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 70
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 3.2 Participants

Le travail a été effectué par trois membres du personnel de Beak Consultants, supervisés par trois membres de l'Unité de Coordination du PRECASEM. Les participants étaient :

**du côté de Beak Consultants:**

- Peter BOCK, Géologue ;
- Nicole THÜMER, Géologue, expert SIG ;
- Michel AWANA ATEBA, Géologue, Environnementaliste.

**du côté du PRECASEM :**

- M. ONDING ETEME François, Expert Environnemental et social.
- Mme. OMGBA Balbine Pascaline, employé du CAPAM
- M. ELOUNDOU N. Charles de la Direction de la Géologie du MINMIDT.

Les experts du consultant et de la CAPAM ont été appuyés par des agents locaux de la CAPAM basés à Batouri, Colomines et Bétaré Oya.

Le projet de programme de terrain a été présenté au PRECASEM et discuté lors d'une séance de travail avant le départ, le 5 juillet 2021. Un certain nombre de sites miniers identifiés dans l'étude de télédétection, dans la littérature et dans d'anciens travaux de terrain du consultant ont été suggérés (points jaunes sur la Figure 31).



Figure 30 Travaux des experts du consultant, du PRECASEM et du personnel de soutien du côté du CAPAM à Colomines (MS-CM25)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 71
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 3.3 Résumé des sites visités et des observations sur le terrain

Les points d'observation du travail de terrain réalisé sont représentés par les points bleus à la Figure 31.

Les sites ont été divisés en sites miniers (MS....) et points d'observation (OP...). Ainsi, un site minier peut inclure plusieurs points d'observation, et les points d'observation ne dépendent pas des sites miniers. Ils peuvent aussi décrire des types de végétation / d'occupation des terres pour validation des données de télédétection. Le Tableau 13 montre la totalité des sites miniers et des points d'observation visités.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 72
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

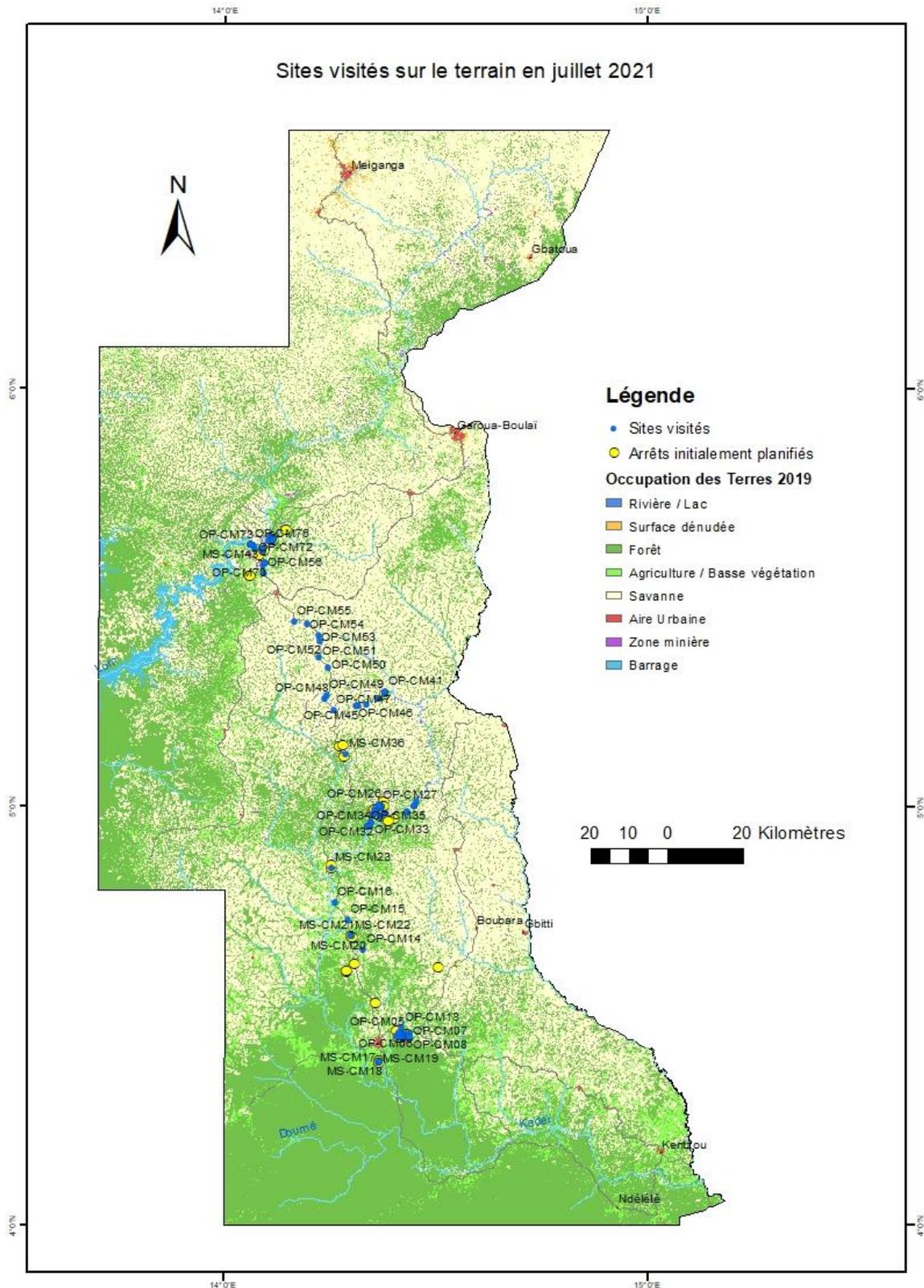


Figure 31 Localisation des arrêts initialement planifiés (jaune) et réalisés (bleu)

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 73
	Autorisé	x 1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



Tableau 13 Sites visités sur le terrain

N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM02	Boukarou (Kambele III)	14.415 2547	4.4545 218	617	granite	roche	Artisanal	actif	excavation & lavage, amalgamation	Site d'exploitation artisanale entre le village minier de Boukarou à l'est et la rivière Djongo à l'ouest. L'objet de l'exploitation est 1. le matériel des veines de quartz précédemment déposé dans la rivière comme déchet qui est maintenant broyé dans des moulins et relavé, et 2. la roche primaire granitique altérée traversée par de fines veines de quartz.	07/07
MS-CM04	Boukarou (Kambele III)	14.415 0822	4.4548 360	608	granite	roche	Artisanal	actif	excavation & lavage, amalgamation	Exploitée par les habitants du village, sans autorisation. Environ 300 personnes venant de l'Est Cameroun et d'autres régions ainsi que de l'étranger (par ex. du Sénégal, Burkina Faso ou Niger). Auparavant, la zone était boisée, comme le témoignent la présence de racines de plusieurs mètres de large.	07/07
MS-CM05	Carrière de Peng cheng mining	14.415 8290	4.4513 478	636	granite	roche	chinois	actif	excavation	Site de la mine de Meng Cheng. Mine mécanisée, grande mine à ciel ouvert. Profondeur ca. 8-10 m, mais il semble que la carrière se trouve encore au stade initial et qu'elle sera encore approfondie. Propriétaire : Meng Cheng mining (Mme. Wang). Le site est situé à proximité de petits puits des locaux.	07/07
MS-CM06	Carrière de Peng cheng mining	14.415 6988	4.4507 193	640	granite	roche	chinois	actif	excavation	La carrière est bordée par une forêt dense dans laquelle se trouvent quelques cacaoyers.	07/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 74
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM07	Site artisanal "Monaco"	14.4154730	4.4498358	642	granitoïde	roche	Artisanal	actif	excavation	<p>Puits artisanal dénommé « Monaco », exploité par les villageois, en voisinage directe avec la carrière de Meng Cheng à l'est. La profondeur est d'environ 15 à 20 m, le diamètre d'environ 50 m. Exploitation des veines de quartz.</p> <p>Interview</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la mine progresse de 3m tous les 10 mois en profondeur</li> <li>- les puits artisanaux dans cette région ont plus de 10 ans</li> <li>- broyage et utilisation de mercure</li> <li>- environ 150 personnes âgées de 20 à 30 ans</li> <li>- ils travaillent du lever du soleil (7h) jusqu'à ce qu'ils soient fatigués (16h à 17h)</li> <li>- la plupart des mineurs sont originaires du village, certaines viennent de la RCA.</li> <li>- l'interlocuteur est originaire du sud-ouest du Cameroun, c'est un universitaire (licence) mais il travaille comme un mineur ordinaire.</li> <li>- Il n'y a pas de directeur, tout ceux qui veulent peuvent venir</li> <li>- Ils travaillent sans équipements de protection.</li> </ul>	07/07
MS-CM08	Site artisanal "Monaco"	14.4157732	4.4494173	640	granitoïde	roche	Artisanal	actif	excavation	Puit artisanal d'environ 20 m de profondeur, bordée par une forêt dense avec quelques bananiers, cacaoyers et autres fruits à l'est et la mine industrielle de Meng Cheng.	07/07
MS-CM09	Monaco Est	14.4152880	4.4491065	631	granitoïde	roche	Artisanal	actif	excavation	Vue sur la carrière de Meng Cheng	07/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 75
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM11	Djongo, sites de lavage Goodluck mining	14.4077368	4.4511390	615	granitoïde	roche	chinois, mécanisé	actif	broyage, lavage	Installations de lavage de la société chinoise Goodluck mining. Les matériaux sont déposés ici par des camions depuis le site minier de Goodluck mining à Boukarou, en voisinage avec la carrière de Meng Cheng. Le processus de lavage se fait à l'aide d'un sluice avec deux ouvriers tenant un tuyau d'eau.	07/07
MS-CM12	Bote, Carrière	14.4298707	4.4570175	634	granitoïde	roche	chinois	actif	excavation	Puits, avec un mur escarpé d'environ 25 m de profondeur, vue du point d'observation vers le N et le NE. Divers camions et excavatrices sont en action. Les matériaux sont lavés près de la rivière Mbil. La roche primaire est exploitée. Les locaux ont exploité cet endroit avant d'être délogés à l'arrivée de la société chinoise.	08/07
MS-CM13	Station de lavage artisanal (affluent du Mbil)	14.4369873	4.4581822	618	granitoïde	roche	Artisanal	actif	lavage	Terril composé de déchets sableux de l'exploitation chinoise de Bote. Les artisans lavent une deuxième fois le matériel sableux qui a déjà été lavé par d'autres artisans sur le site de Bote. La livraison de ce matériel se fait par moto. Le prix local de l'or pour 1g est ici de 23.000 FCFA. 1 moto / remorque avec un chargement de 0,5 t de minerai représente environ 2000 fca. Pour 20 voyages par jour, en comptant 4000 fca de carburant, une moto présente un bénéfice de 30.000 fca par jour. En 2014, la société grecque Metalicon a exploité ce site.	08/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 76
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM14	Carrière; colline NW de l'Amoscelain	14.4205893	4.4533507	636	granitique	roche	chinois	actif	excavation	Nouvelle carrière qui n'existait pas encore en 2019 (état des résultats de télédétection). Propriétaire : Dekonka. Profondeur d'environ 6-8 m. On ne sait pas si d'autres travaux et approfondissements sont prévus. Les installations de lavage sont situées au SE de la carrière. Extension de la zone N-S 200 m et E-W 250 m sur une colline. Exploitation de la roche primaire qui est un granit altéré. Le profil du sol montre des bordures horizontales bien développées. (Peut-être une zone oxydation / réduction ; Zone blanche = zone de réduction avec conglomérats de fer secondaires ; zone rouge = zone d'oxydation avec fer oxydé en hématite).	08/07
MS-CM15	Carrière, pente NW de l'Amoscelain	14.4208657	4.4521368	633	granitique	roche	chinois	actif	excavation	Prolongement de la carrière de MSCM14 vers le SE. Le minerai est du granit altéré. La profondeur est encore assez faible, de 4 à 8 m. La carrière sera probablement approfondie. Deux excavatrices et une installation de lavage fonctionnent actuellement.	08/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 77
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM16	Doumbekwake; site de Phoenix	14.3641038	4.3872893	642	granitoïde	roche	autre compagnie (camerounaise)	actif	excavation en préparation	2 compagnies sont installées. A environ 2 km au nord du point d'observation, sur la rivière Doumba, un camp chinois est en cours de construction. Ici, la société camerounaise Phoenix est présente avec une excavatrice et d'autres matériels. L'exploitation minière proprement dite ne semble pas avoir encore commencé. Une ancienne fosse d'environ 150x80 m est située au nord du point d'observation. Elle a été créée par des travaux chinois semi-mécanisés. Il y a des fragments de veines de quartz sur le côté ouest de la fosse. La roche primaire et les veines ont d'abord été exploitées par une société chinoise, puis sud-africaine.	08/07
MS-CM17	Doumbekwake, ancien puit	14.3649087	4.3889527	612	granitoïde	alluvionnaire	artisanal (avant: chinois)	actif	lavage	Il y a des petites sluices en bois sur le côté ouest du puit. Du sable a été creusé et passé au tamis en petites quantités. Certains équipements (grand tamis) sont réutilisés pour la prospection de diamants. Des enfants du camp sont ici et pêchent des poissons.	08/07
MS-CM18	Doumbekwake, campement	14.3653768	4.3898368	620	granitoïde	Roche	artisanal	actif	broyage, lavage		08/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 78
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM19	Doumbekwake, campement	14.3650687	4.3903338	622	granitoïde	Roche	artisanal	actif	broyage, lavage	<p>Cabanes du camp du site. L'or est soufflé (purifié) par l'habitant le plus âgé, qui vit ici depuis 29 ans. Les grains d'Au sont moyens à grossiers. Les villageois travaillent principalement sur des veines de quartz, autrefois aussi dans des alluvions. La veine de quartz principale a une épaisseur d'environ 1 m, elle est orientée vers le NNE exploitée sur environ 400 m. L'habitant n'utilise pas le mercure. Il dit que les gens craignent les activités des opérateurs semi-mécanisés chinois et camerounais récemment arrivés. La forêt est dense et comporte des arbres hauts. Les plantes sont par exemple Meliacées, Emien, Padouk.</p> <p>Roches primaires et alluvions sont exploitées. L'interlocuteur ne connaît pas le nombre exact des ouvriers. Il ne veut pas travailler avec des Chinois. Son grand-père a exploité les alluvions avec une société allemande.</p> <p>Vue des puits de 10 m de profondeur.</p> <p>Type de forêt environnante = forêt dense.</p>	08/07
MS-CM20	Mboumama, puit sur veine de quartz	14.3007547	4.6923392	637	granitoïde	roche	Artisanal	inactif	excavation	<p>Ancien site d'exploitation artisanale de veines de quartz. Le site est principalement recouvert d'une végétation herbacée. Peu d'activités, mais quelques traces fraîches de traitement du sable de rivière par les villageois.</p>	09/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 79
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM21	Mboumama , puits	14.3004692	4.6919470	636	granite	roche	Artisanal	inactif	excavation, lavage	Site minier abandonné de veines de quartz. Rivière exploitée en 2016 ou 2017 par Dekonka. En 2018 ou 2019 d'autres européens sont venus et ont apporté du matériel, qui est resté au village. Ils ne sont pas revenus. Un autre ancien site d'exploitation de veines de quartz est situé à 0,8 km au SE du point d'observation actuel, mais il n'a pas été visité.	09/07
MS-CM22	Mboumama riviere	14.2999265	4.6921340	630	granite	alluvionnaire	chinois	inactif (petite activité d'artisans miniers)	lavage	Le site est peu fréquenté par les mineurs artisanaux qui exploitent les sables résiduels de l'exploitation alluviale de Dekonka. Actuellement, il n'y a personne sur le site. Le sable est moyen à fin, blanc, empilé sur des terrils de 3 m de haut qui sont en partie déjà enlevés par la rivière Mboumama. Exploitation alluvionnaire d'une petite rivière : Sable et gravier légèrement arrondis.	09/07
MS-CM23	Kadei, flat exploité, déviation	14.2541562	4.8549222	620	granite	alluvionnaire	chinois	inactif	excavation	Déviation de la rivière Kadei. Les Coréens ont parti l'année dernière. La faune souffre, car les chemins des animaux sont bloqués. L'exploitation minière alluviale a commencé en 2018. Le lit de la rivière exploitée s'est partiellement réactivé, mais une part de la rivière continue de couler dans le canal qui était creusé pour la déviation de la rivière.	09/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 80
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM24	Colomines, Derrière l'école, ancien site d'exploitation alluvionnaire	14.3693953	4.9968375	728	granite	alluvionnaire	artisanal, avant chinois	actif	excavation	Site alluvionnaire en bas du site d'exploitation des roches primaires "Derrière l'école" (où il y avait une ancienne société chinoise). Site à 300m à l'ouest avec utilisation de cyanure pour les déchets de sable qui sont broyés. Environ 150 travailleurs au total. Enfants travaillent (mais c'est samedi --> pas d'école). Les artisans miniers sont surtout des Camerounais. Le gravier n'est pas encore atteint (du sable pour le moment) Ils ont atteint la nappe phréatique et ont commencé à pomper. Il y a des flaques d'huile de vidanges.	10/07
MS-CM25	Camp mery	14.3656575	5.0027220	729	granite	roche	chinois	actif	excavation	Grand trou. Permis du partenaire camerounais des chinois (CODIAS ?). Enlèvement du recouvrement jusqu'à 5-7 m. Tout le matériel situé plus bas a été exploité. Activité depuis 2019-20. Pas de veine de quartz visible. La première société chinoise en 2017 - 2018 a creusé seulement des petits puits jusqu'à 5 m. deuxième compagnie en 2019 a creusé jusqu'à 40 m --> a trouvé de la roche primaire non altérée au sud du trou (veines de quartz très fines). Idée : différentes intrusions granitiques. Une intrusion de granite faiblement altéré, une autre intrusion de granite fortement altéré.	10/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 81
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Mineraux exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM26	Ling xinrong (grande carrière)	14.3541878	4.9934865	718	granitoïde	roche	chinois	actif	excavation, lavage	<p>Entretien avec la société chinoise Ling Xinron Exploitation sur 1 km2. En 2015, 19 entreprises ont exploité... La plupart sont parties. Ici les roches ne peuvent pas encore être exploitées, les marteaux sont commandés en Chine. Jusqu'à présent, les trous ne peuvent pas être fermés. 110 ouvriers camerounais, 16 chinois. Permis de 342 km2. Le site est plus éloigné de la ville. Les paysans dont les champs ont été impacté ont été dédommagés. Heures de travail : 7h - 15h et 16h - 20h. Le personnel reçoit des vêtements de protection L'entreprise laisse les puits ouverts pendant quelques jours pour les artisans. Il faut éviter que les artisans commencent à creuser des trous horizontaux, car c'est très dangereux dans le granit altéré. La société emploie des villageois, s'ils connaissent la géologie du site et peuvent donner de conseils.</p> <p>Renaturation : Ils referment les trous avec de la terre provenant de sites miniers récents. Ils n'exploitent pas l'argile, les boues sont moins importants qu'à Kambele. Ils n'ont qu'un seul point de broyage central, où on broye sans laver (avec le lavage, les points de broyage seraient répartis sur toute la zone). Ils ont une licence pour l'exploitation minière artisanale l'exploitation minière artisanale n'est autorisée qu'à 30 m --&gt; ils ont besoin d'un nouveau permis pour l'exploitation comme petite mine.</p>	10/07
MS-CM27	Camp bleu	14.3690767	4.9761868	734	granitoïde	roche	Artisanal	actif	lavage	<p>Site abandonné par les Chinois il y a un an. Les artisans ont lavé tous les déchets rocheux et parfois les recouvrements. Granit altéré. Zone de bassin d'eau : environ 400 x 100 m</p>	10/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 82
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM28	Deng Ling xong (ancien site "Trou de rat")	14.3692097	4.9781393	711	granitide	roche	chinois	inactif	excavation	Grande carrière abandonnée. Activité En 2018-2019. Avant, c'était un des sites les plus importants des artisans miniers qui avaient creusé des puits de 15 m de profondeur et plus. Maintenant, ce site a disparu. Le grand puit est rempli d'eau.	10/07
MS-CM29	Embouchure Eikoubou / Gambadi	14.3519982	4.9829600	690	granitide	alluvionnaire	Artisanal	actif	lavage	Exploitation minière alluvionnaire	10/07
MS-CM30	Riv. Gambadi	14.3512443	4.9825598	693	granitide	alluvionnaire	chinois	inactif	excavation	Le Chinois Lau a travaillé dans la rivière en 2016-17. Maintenant, sur une surface de 300 x 300 m, des herbes et arbustes ont poussé à une hauteur de 1,5 m. De nombreux bassins d'eau et petites zones d'exploitation. Plantes typiques des zones marécageuses.	10/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 83
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM31	Kadei au SW de Zimbi/Boden	14.4483113	5.0021398	761	granite	alluvionnaire	autre société	actif	ponton (excavation, lavage)	<p>A cet endroit la Kadei s'écoule du Nord au Sud. Des Chinois sont venus en 2018-2020 et sont partis il y a 1,5 ans. Déviation de la Kadei vers l'ouest, le canal est toujours connecté. Maintenant les villageois travaillent sur 2 pontons de dragage avec des tuyaux d'aspirations. 2 groupes de 10 personnes. Tout le sable empiilé aux bords vient de la Kadei.</p> <p>La Kadei a été dévié, parce que le lit de la rivière a été exploité. La rivière et le canal sont connectés et l'eau coule.</p> <p>Il est interdit d'exploiter dans le lit des grandes rivières ou de détourner ces rivières. Jusqu'en 2014, les petites rivières ont été exploitées, puis les grandes rivières. L'eau de la rivière est de couleur brune</p> <p>Superficie de la surface exploitée : 150 x 30 m</p> <p>les sédiments de couleur sombre sont peut-être des matières organiques.</p> <p>les sédiments sont toujours lavés --&gt; pas de végétation qui pousse.</p>	11/07
MS-CM32	Meandre kadei	14.3381897	4.9520828	770	granite	alluvionnaire	chinois	inactif	excavation	Les artisans exploitent le granit altéré, de couleur orange.	11/07
MS-CM33	Embouchure du Gambadi	14.3779125	5.2711338	670	granite	roche	chinois	actif	excavation	Des chinois sont parties en 2018 ; ils n'ont exploité que des alluvions. Les locaux ont ensuite exploité des roches altérées.	11/07
MS-CM34	Embouchure du Gambadi	14.0899847	5.6112707	659	granite	alluvionnaire	chinois	inactif	excavation	Extraction de sédiments de la rivière et extraction de roches primaires à 5 m de distance. Surface du site d'exploitation : 150 x 50 m la rivière suit une faille, d'où sa direction rectiligne	11/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 84
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longit ude (°)	Latitu de (°)	Altit ude (m)	Lithol ogie	Miner ai exploi té	Opérate ur	Etat	Process us	Observation	Date (2021)
MS-CM35	Riv. Bonianga amont	14.089 3347	5.6154 868	752	granito ïde	roche	chinois	inactif	excavatio n, lavage	Exploitation semi-mécanisée en roche primaire altérée, près de la rivière Bonianga. Entreprise chinoise. Abandonnée vers 2019. Roche environnante : granite à texture non isotrope / inclusions sombres.	11/07
MS-CM36	Riv. Bongone; exploitation chinoise 2014	14.438 2037	4.4472 962	784	granito ïde	alluvio nnaire	Artisinal (avant: chinois)	actif	excavatio n, lavage	Site minier artisanal non actif --> plus rien de visible Zone marécageuse, envahie par la végétation	12/07
MS-CM37	Nganganga	14.437 0460	4.4467 202	860	migma tite	roche	chinois / artisanal	actif	excavatio n	Le site minier semble toujours actif. Il y a deux ans, une société chinoise a exploité la mine, mais on ne sait pas si elle l'exploite encore.	12/07
MS-CM38	Qpawara; plantation manioc sur terril	14.436 5912	4.4463 258	699	schiste	alluvio nnaire / terrasse	chinois	inactif	excavatio n	Recouvrements. Plantation de cassava. Le sol est en schiste qui a le potentiel de donner un sol riche. Le manioc pousse sur les sédiments environnants d'un ancien étang. La boue semble être plus riche en nutriments et a un plus grand volume de pores. Exploitation minière en partie alluvionnaire, en partie en roche primaire.	13/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 85
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM39	Rivière Bediri, village Longamali	14.4206868	4.4490133	705	schiste	terrasse	chinois	actif	excavation	<p>Terrasse en voisinage des roches. Epaisseur min. 1m. 22 ouvriers, 6 chinois. La société n'indique pas de nom. Ils travaillent de 6 à 17 h. Machines pour trier et laver le gravier. Sédiments d'une ancienne terrasse, Colline (711 m au-dessus du niveau de la mer, GPS) 6 m de sédiments de terrasse altérés, suivis de 0,2 - 1 m de terrasse jusqu'au sol. Gravier de taille moyenne à grande, arrondi moyen à fort. Couche de gravier à sable. Blocs rocheux avec un diamètre de 25 cm</p> <p>-----</p> <p>Exploitation minière en roche primaire. Entreprise chinoise. Exploitation existait en 2019, mais plus petit. Actuellement 300 x 300 m. La société Kima Dubai a travaillé sur ce site en dernier. Bassin de décantation de 1 m de hauteur ; construction d'un barrage autour ; un petit cours d'eau traverse le bassin, environ 40 x 100 m. Environs : forêt, savane, agriculture</p>	14/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 86
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM40	Riv. Lom	14.328 4272	4.6593 640	679	schiste	alluvionnaire	chinois	actif	excavation	Lavage dans un endroit éloigné. Observations du site minier sur la rive opposée de la rivière : Site minier alluvionnaire Depuis 2019, les sites miniers se sont déplacés davantage vers l'ouest. Sur l'ancien site minier (de la société chinoise) pousse une végétation dense (nombreux buissons), et il y a de l'agriculture (maïs, manioc). De nombreux étangs d'environ 20 x 20 m sur l'ancien site. Occupation des terres environnante : forêt secondaire, agriculture, rivière, savane, sites post-mine.	14/07
MS-CM41	Riv. Lom	14.351 6440	4.9822 623	674	schiste	alluvionnaire	chinois	actif	excavation	Profile : 0.4 m Humus, 0,4-2 limon, argile avec quelques couches de sable 2-3.5 sable, gravier fin En bas de 3.5 m : gravier, gris Exploitation alluvionnaire avec des excavatrices Société chinoise (avant la société coréenne) Viennent d'atteindre le gravier enrichi en or (probablement aussi dans le sable) Transport des sédiments vers une station de lavage Personnel : 3 Camerounais (observation) Travaillant depuis 4 mois sur ce site	14/07
MS-CM42	Riv. Lom	14.352 4117	4.9830 267	653	schiste	alluvionnaire	chinois	actif	excavation	Exploitation minière alluvionnaire, exploitation semi-mécanisée par des Chinois, sur le versant SW de la plaine alluviale du Lom.	14/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 87
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Mineraux exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
MS-CM43	Bekade / Lom	14.447 9120	5.0018 882	670	schiste	alluvionnaire	Artisanal	actif	lavage	C&K Mining (entreprise coréenne) étaient là de 2014 à 2016. Plus tard, des Chinois sont venus. Actuellement, les déchets et le gravier des Chinois sont lavés. Lom : eau brunâtre clair, vue 15 cm Exploitation artisanale des villageois. Lavage des terrils existants ; de nombreuses petits puits existent. Ca. 40 personnes Les enfants ne travaillent pas Les artisans lavent pendant 4 mois et se déplacent avec l'entreprise chinoise d'un site à l'autre. L'étang est relié à la rivière, l'eau y coule. 3 groupes d'artisans. Étang de couleur claire (argile), turbidité élevée. Ancien site minier en face de la rivière : buissons hauts, quelques arbres. Âge moyen des travailleurs d'environ 25 ans.	14/07
OP-CM01	Village Boukarou (Kambele III)	14.448 5498	5.0019 897	620	granite	NA (village)	Artisanal	actif	Broyage, lavage, amalgamation	Village minier de Boukarou. Les petites maisons sont construites en bois et en briques d'argile. Bureau de la CAPAM.	07/07
OP-CM02	Village Boukarou (Kambele III) - surface récemment déforestée	14.452 7637	5.0130 028	627	granite	roche	chinois	actif	déforestation, préparation mine	Plateau bordant le village minier de Boukarou. De vieux troncs et racines d'arbres témoignent de la forêt dense qui précédait le paysage minier. Forêt primaire détruite.	07/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 88
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM03	Anciens puits artisanaux en proximité de la carrière "Monaco"	14.3393953	4.9534310	632	granite	roche	artisanal	inactif	excavation	Anciennes petits puits avec repousse de la végétation, près de la carrière artisanale de « Monaco ».	07/07
OP-CM04	Campement / station de lavage "Good luck mining"	14.3383223	4.9524248	607	granite	roche	chinois	actif	lavage	Camp d'une entreprise chinoise. Les gardes de sécurité sont sceptiques et, au début, ne veulent pas nous laisser entrer. Après une longue explication, l'accès est donné pour interviewer le propriétaire du site. Différents équipements (sluices, excavateur), non utilisés, sont placés devant le camp. Le camp est entouré d'une tranchée de 1-2 m de profondeur.	07/07
OP-CM05	Route traversant la vallée du Djongo	14.3783257	5.2698262	617	granite	alluvionnaire	chinois	inactif	lavage, dépôt des boues	Côté est de la vallée de Djongo au niveau du digue sur lequel passe la route. La vallée est remplie de boue de résidus miniers. Des troncs d'arbres morts témoignent d'une forêt qui existait auparavant dans la vallée. Sur le versant ouest, un grand terrier est exploitée par des mineurs artisanaux. Ce terrier est toujours en croissance et appartient à une autre société minière chinoise. Environ : Savane, forêt Petite île dans l'ancienne rivière avec des arbres de 3 m de haut (âgés d'environ 5 ans). A la limite des sédiments fins de la rivière, de l'herbe pousse.	07/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 89
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM06	Riv. Mbil	14.378 2762	5.2690 510	626	granite ide	alluvio naire	chinois	inactif	excavation, lavage	La rivière Mbil. En aval, la vallée est polluée par la boue provenant de l'usine de traitement chinoise qui lave les matériaux des carrières de Bote. La plupart des arbres de la vallée sont morts, même ceux qui se trouvent à 1-2 m au-dessus du niveau de l'eau, car les boues forment une barrière imperméable. la boue est constituée de sédiments fins (argile primaire). Autour de la forêt secondaire : la plupart des arbres < 15 m. La rivière est reliée à un canal qui traverse la boue --> eau courante	08/07
OP-CM07	Riv. Mbil en aval	14.379 6987	5.2752 893	631	granite ide	alluvio naire	chinois	inactif	excavation, lavage	La rivière Mbil, plus en aval. Ici aussi, la boue recouvre la majeure partie de la vallée et la plupart des arbres qui restaient après l'exploitation alluviale sont morts. La rivière est déviée dans un canal, qui entoure un grand étang. Canal de 3m de large Gravier de taille moyenne, pas très arrondi. Probablement du sédiment de l'ancien lit de la rivière. Entre les bois morts poussent de petites herbes et de petits buissons dans la boue de sédiments fins = Plantes pionnières	08/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 90
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM08	Site de broyage / lavage Meng Cheng mining	14.0910927	5.6114025	627	granitoïde	roche	chinois	actif	broyage, lavage	<p>Installation de lavage de la société chinoise Meng Cheng. La surface de la zone est d'environ 3 ha (150 x 200 m). Des matériaux sableux et des fragments de veines de quartz de 10-40 cm sont empilés. Le matériau est broyé avec 6 roues de circulation dans des bassins cylindriques. La boue résiduelle est rejetée dans un petit bassin de décantation d'environ 10 x 15 m de large, puis dans la rivière Mbil. Les berges de la rivière sont principalement constituées de boue, les plantes poussent de manière éparses. Aujourd'hui, on broie de la roche primaire (Qz-Veins), alors qu'auparavant, on travaillait avec des alluvions. Le minerai est transporté à cette station de broyage depuis Boukarou. Les employés sont camerounais. Travail en deux équipes de 6 personnes (6 - 17:30 ; 19 - 5:00 ; avec une heure de repos), bien organisé. Faible communication entre les Camerounais et les Chinois. En présence de Chinois, aucune plainte des travailleurs.</p> <p>Nous avons interrogé un conducteur de poclain qui nous a suivis à une centaine de mètres du site. Il déclare : Paiement des ouvriers : 110 000 FCFA / mois ; conducteur de pelleteuse : 250 000. Il est originaire de la région Centre du Cameroun et vient ici pour un travail saisonnier (maintenant pour un an). Il se sent exploité par les Chinois. Il n'a pas de contrat de travail, a acheté des vêtements (bottes et veste) à une autre entreprise, rien n'est fourni par l'employeur, pas même l'eau potable. Il perdrait son emploi s'il se plaignait devant l'employeur. Selon lui, le gouvernement les a abandonnés.</p>	08/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 91
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Mineraux exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM09	Riv. Mbil	14.0904292	5.6123910	625	granite	roche	chinois	inactif	lavage	La rivière Mbil à environ 300 m plus loin en aval. La rivière coule encore dans des sédiments boueux qui proviennent de roches et de sols broyés. Une légère végétation d'herbes borde la rivière, mais la plaine derrière, constituée de boue, est presque stérile, même si la boue a été déposée il y a plus d'un an. Auparavant, station de lavage chinoise. La boue est sèche et fissurée La boue est principalement de l'argile. A côté du canal poussent des plantes marécageuses. Les raisons possibles pour lesquelles la végétation est très faible à absente : De la nouvelle boue est lavée sur la surface à plusieurs reprises. De l'autre côté, on peut voir une modeste végétation pousser sur la boue.	08/07
OP-CM10	Riv. Amoscelain	14.0907473	5.6135603	623	granite	roche	chinois	inactif	lavage	Rivière Amoscelain. Travaux d'exploitation chinois. L'eau boueuse est barrée dans un étang en amont, en aval aucune eau de surface n'arrive, pas de rivière visible. Au sud, de la boue séchée fissurée est habitée par une nouvelle végétation d'herbes éparses.	08/07
OP-CM11	Riv. Amoscelain	14.1032170	5.6361210	622	granite	roche	chinois	actif	excavation	La rivière Amoscelain, couverte des boues des sites de traitement qui occupent une grande partie de la vallée.	08/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 92
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM12	Riv. Amoscelain	14.108 1547	5.6455 407	627	granite	roche	chinois	inactif	lavage	Ancien camp chinois. Barrage qui barre de l'eau boueuse stagnante. Les arbres surplombant l'étang artificiel sont pour la plupart morts, la végétation bordant l'étang au SE est également couverte de boue au niveau des racines et risque d'être détruite prochainement. La raison d'être du barrage est probablement de fournir de l'eau aux lavoirs situés au NW.	08/07
OP-CM13	Riv. Djongo. Lieu de lavage	14.114 7067	5.6394 833	625	granite	alluvionnaire	chinois	actif	lavage	Installation de lavage de M. Wang	08/07
OP-CM14	Nouvelle route à Mboumama	14.113 3242	5.6407 705	672	granite	NA	NA	NA	NA	Nouvelle route vers Mboumama / près des champs et/ou des exploitations alluvionnaires ?	09/07
OP-CM15	Végétation de la région Tapare	14.095 6470	5.5829 482	630	granite	NA	NA	NA	NA	Végétation: Herbes, arbustes	09/07
OP-CM16	Kadei, autrefois exploitée par dragage	14.089 6962	5.5766 225	610	granite	alluvionnaire	chinois	inactif	lavage	La Kadei au niveau de Wantamo. Pas de trace d'exploitation minière à ce stade, mais d'anciens trous de prospection dans la plaine alluviale par une société chinoise (vers 2014).	09/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 93
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM17	Colomines, Derrière l'école, ancien site d'exploitation roche	14.0946872	5.5832643	729	granitoïde	roche	chinois	inactif	excavation, lavage	Site d'exploitation minière artisanale "Derrière l'école". Les Chinois ont travaillé en 2019-20 ; maintenant exploité par les habitants. Les maisons risquent d'être endommagées. Latérite, sol (2m), au dessus du granite avec de petites veines Qz. Broyage et utilisation de mercure --> les sédiments broyés se sont écoulés dans le bassin d'eau. A l'origine, c'était une plaine marécageuse avec une petite rivière et une savane environnante. aujourd'hui des chaînes d'étangs restant après exploitation.	10/07
OP-CM18	Colomines, bassins de lavage	14.0615697	5.6268497	733	granitoïde	roche	artisanal, Burkinabé	inactif	lavage	Colomines, partie ouest du village, au sud de la route. Recyclage (lavage) d'anciens déchets des roches, broyés, dans des bassins rectangulaires. Similaire à Boukarou / Kambele. Utilisation de mercure.	10/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 94
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM19	Colomines, quartier Boutou; étangs	14.0607255	5.6266493	726	granitoïde	roche	chinois (après: burkinabé, artisans locaux)	inactif	excavation, lavage	<p>Boutou. Petite rivière. L'ancienne zone d'exploitation des alluvions est maintenant utilisée par les habitants pour la pêche malgré les contaminants qui subsistent probablement.</p> <p>Exploitation alluviale chinoise vers 2015-2017</p> <p>Plus tard : Traitement des déchets rocheux par les Burkinabés à l'aide de cyanure, après la fin de l'exploitation alluviale chinoise, vers 2017-2019.</p> <p>Le Hg a été utilisé par les mineurs artisanaux lors de l'exploitation il y a 2 ans, et (probablement) par les opérateurs chinois avant.</p> <p>Les grands étangs (environ 20 x 30 m) sont actuellement (depuis 2 ans) utilisés pour la pêche par la population locale. Avant, les Chinois ont exploité le site de manière alluvionnaire jusqu'en 2017, plus tard les artisans ont exploité les berges et les burkinabés ont traité les déchets avec des cyanures.</p> <p>Aucune exploitation minière depuis 2019.</p> <p>Recommandation : échantillonnage pour le Hg et autres contaminants. (réhabilitation possible).</p> <p>Sécurisation des bords abrupts du bassin, comme le site est près du village.</p> <p>Jusqu'à présent, le site est visiblement vert, mais aucune renaturation en termes de mesures de protection n'a été faite. Les mesures à prendre dépendront de l'analyse chimique.</p>	10/07
OP-CM20	Boutou, quartier Bororo	14.0608312	5.6266283	727	granitoïde	alluvionnaire	artisanal, Burkinabé	inactif	Lessivage, cyanures	<p>Boutou. Lessivage, cyanure utilisé par les burkinabé. Recommandation : Etude, sécurisation, monitoring des sites abandonnées. Quartier Mbororo.</p>	10/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 95
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM21	Colomines, grande carrière	14.0602992	5.6277842	705	granite	roche	CODIAS / Chinois	actif	excavation	Société Codias a la licence d'exploitation. Carrière de 40 m de profondeur. Exploitation en roche primaire Côté colline, la savane d'origine Fosses cachées des artisans	10/07
OP-CM22	Embouchure Eikoubou - Gambadi; chantier alluvionnaire	14.1098600	5.6475000	692	granite	alluvionnaire	Artisanal	actif	lavage	Gravier alluvial, déchets de roche de lavage.	10/07
OP-CM23	Embouchure Eikoubou - Gambadi; chantier alluvionnaire	14.4169380	4.4536445	694	granite	alluvionnaire	Artisanal	actif	lavage	Site d'exploitation minière artisanale en placers alluvionnaires / granite, altéré.	10/07
OP-CM24	Auberge « Ossoko »	14.4157372	4.4519418	742	granite	NA	NA	NA	NA	Colomines, auberge "Ossoko". Des moutons marchent au côté SE de la carrière industrielle.	10/07
OP-CM25	Carrière NW de Colomines (au NW du point d'observation)	14.4153437	4.4488285	738	granite	Roche	chinois	inactif	excavation	Carrière abandonnée, laissée par des Chinois. 1 enfant est mort dans le trou. Les murs sont constitués de roches altérées fragiles ou de produits d'altération argileux. La roche est un granite.	10/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 96
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM26	Terril de remblais silteux-sableux au NW de Colomines	14.4091940	4.4515023	742	granite	Roche	chinois	inactif	excavation / déposition	De l'ouest à l'extrémité nord du terril. Les chinois ont déversé du sable il y a 2 ans.	10/07
OP-CM27	Carrière NW de Colomines (à l'Est du point d'observation)	14.4372573	4.4581157	742	granite	Roche	chinois	inactif	excavation	Bord ouest de la carrière	10/07
OP-CM29	Meandre de la Kadei 3 km au SW de Zimbi/ chantier alluvionnaire	14.4379277	4.4487803	769	granite	alluvionnaire	Artisanal	actif	excavation, lavage	Site minier alluvionnaire proche d'un site de roche primaire, dans un méandre de la Kadei. La Kadei a été déviée vers l'est dans un canal. Le canal est encore connecté et montre un courant lent, mais la majeure partie de l'eau s'écoule dans le lit original de la Kadei. Les fosses montrent du sable alluvial et du gravier de quartz de la Kadei, les bords des fragments de quartz sont arrondis. Eau stagnante dans un grand étang de 70*40 m. Près de la rivière = exploitation alluvionnaire, derrière le nouveau site minier de roche primaire avec des veines de quartz. L'étang est isolé de la rivière. Entreprise chinoise qui a dévié la rivière dans un canal --> maintenant l'eau coule dans la rivière ancienne et dans le canal. La biodiversité semble relativement élevée dans la zone post-minière.	11/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 97
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM30	Meandre de la Kadei. Chantier des roches / regolith	14.2901697	4.7301870	767	granitoïde	roche / regolithe	Artisanal	actif	excavation, lavage	<p>Site d'exploitation de roches primaires près de la rivière Kadei. Le régolithe excavé est de couleur orange. Le pied du profil est exploité par des mineurs artisanaux.</p> <p>Les fragments de quartz couvrant toute la surface proviennent d'un horizon situé près de la ligne d'eau. Il n'y a pas de veines de quartz solides visibles, en raison d'une forte altération.</p> <p>Profil : Humus 0-0.4m ;            Latérite argileuse 0.4-1.2m ;            latérite limoneuse lâche 1.2-2.2m ;            2.2-2.5m latérite limoneuse avec des fragments de quartz ; dans des intervalles exploités par des mineurs artisanaux.</p> <p>Pollution par les déchets.</p> <p>Probablement la raison pour laquelle ils n'exploitent que du granite moins altéré : L'or (haute densité) est lessivé par les eaux de surface dans les couches altérées jusqu'à la couche non altérée la plus haute --&gt; Gisement secondaire.</p> <p>Idées de recommandation :            Des plantes à racines peu profondes devraient être plantées pour stabiliser le sol.</p>	11/07
OP-CM31	Déviations Kadei 1.5 km en aval des chantiers de roche de Zimbi	14.2603815	4.7714013	769	granitoïde	alluvial (dragage)	Artisanal	actif	ponton (Mining + Washing)	<p>Localisation : en face de Zimbi. Déviation de la Kadei NE. Les Chinois sont partis il y a 2 ans. La terre a été enlevée par les Chinois pour faire un barrage.</p>	11/07
OP-CM32	SW de Colomines	14.3568732	4.9892040	793	granitoïde	NA	NA	NA	NA	Savane arborée 4 km SW de Colomines	11/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 98
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerais exploités	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM33	SW de Colomines	14.3644232	5.0014395	648	granite	NA	NA	NA	NA	Savane arborée 4 km SW de Colomines	11/07
OP-CM34	Embouchure du Gambadi	14.3647262	5.0023378	672	granite	NA	NA	NA	NA	Savane arborée proche de l'embouchure du Gambadi dans la Kadei	11/07
OP-CM35	Kadei	14.3640395	5.0044867	653	granite	alluvionnaire	chinois	inactif	excavation	Kadei, bordure de la plaine	11/07
OP-CM36	Gambadi, pont	14.3654588	5.0034515	666	granite	alluvionnaire	artisanal	inactif	excavation, lavage	Pont sur la rivière Gambadi près de la jonction avec Kadei. Puits artisanaux dans les alluvions. Gambadi a été exploité auparavant par GOLDEX.	11/07
OP-CM37	Gambadi, embouchure avec la Kadei	14.3463548	4.9648165	663	granite	roche (localement alluvionnaire)	Artisanal	actif	excavation, broyage, lavage	Site d'exploitation minière artisanale dans des granites altérés. Les anciens filons de quartz sont presque épuisés. On exploite quelques graviers alluvionnaires qui se sont accumulés entre les corps rocheux. L'activité du site est faible, en partie abandonné.	11/07
OP-CM38	Village Rigue	14.3456237	4.9617388	850	migmatite / autres métamorphites	NA	NA	NA	NA	Village Rigue	12/07
OP-CM39	Nganganga, carrière	14.3421782	4.9539368	850	migmatite / autres métamorphites	roches (migmatites)	chinois	inactif	excavation, lavage	Shistosité e w. Granites sous forme de boudins ou d'inclusions dans des migmatites ou autres métamorphites  Géologie : Zone de transition migmatite - granite Site d'une carrière mécanisée. Roches : Migmatites avec quelques inclusions des roches granitiques.	12/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 99
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM40	Nganganga, terril	14.339 9012	4.9534 038	842	migmatite / autres métamorphites	roche	chinois	actif	excavation	Point où le recouvrement excavé est déposé. Le terril est composé de la boue initialement semi-liquide, elle montre une stratification sédimentaire à pente faible, 10° vers le SSW, partiellement horizontale. A côté, des artisans creusent des puits dans les matériaux excavés du site de la grande mine. Les matériaux excavés montrent une foliation secondaire. Les matériaux déposés sont humides et stratifiés. Un Chinois nous décrit les travaux, mais il n'y a pas de traducteur.	12/07
OP-CM41	Riv. Batong, Site de l'entreprise et de lavage	14.361 8432	5.2588 073	848	migmatite / autres métamorphites	roche	chinois	actif	lavage	Entrée du site de lavage. Camp chinois. Sur image satellite on voit des terrils qui se versent dans la rivière du Batong. Nous n'avons pas pu y accéder.	12/07
OP-CM42	Riv. Batong, Site de l'entreprise et de ; vue vers NW	14.379 9883	5.2751 768	845	migmatite / autres métamorphites	roche	chinois	actif	excavation	Camp Mary. Lavage de matériaux provenant d'une fosse située à 1 km au sud. Terrils de matériaux rougeâtres. Le propriétaire n'est pas sur place, nous n'avons pas été autorisés à entrer sur le site. A l'ouest et au nord-ouest, on voit la rivière Batong où sont déposés de grands terrils de matériaux sableux. L'entreprise actuelle exploite la mine depuis 4 mois, avant c'était une autre entreprise. Ils lavent les couches blanchâtres et altérées.	12/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 100
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longit ude (°)	Latitu de (°)	Altit ude (m)	Lithol ogie	Miner ai exploi té	Opérate ur	Etat	Process us	Observation	Date (2021)
OP-CM43	Village Rigue	14.335 2438	5.2437 762	864	migma tites / autres métam orphites	NA (Villag e)	NA	NA	NA	Village Rigue.	12/07
OP-CM44	Rigue, à l'Est de Woumbou	14.315 6705	5.2431 960	878	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane arbustive à Rigue	12/07
OP-CM45	à l'Est de Woumbou	14.309 2672	5.2416 872	880	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane arborée / herbes	12/07
OP-CM46	Savane à l'Est de Woumbou	14.256 7327	5.2315 282	865	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane	12/07
OP-CM47	Woumbou, moutons	14.236 6220	5.2594 628	824	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Woumbou, centre village	12/07
OP-CM48	Savane et herbes au sud de Bohanto	14.240 3185	5.2668 897	868	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane et herbes	12/07
OP-CM49	Village Bohanto,	14.244 2010	5.3326 885	835	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Bohanto, savane à herbes	12/07
OP-CM50	Ouanden	14.222 7482	5.3576 685	907	granito ïde	NA	NA	NA	NA	herbes	12/07
OP-CM51	Nord de Ouanden	14.224 1227	5.3974 825	912	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane arborée	12/07
OP-CM52	Sud de Mbordai	14.220 9017	5.4102 715	906	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane arborée à herbes	12/07
OP-CM53	Village Mbordai	14.193 4148	5.4380 097	913	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Village Mbordai	12/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 101
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longit ude (°)	Latitu de (°)	Altit ude (m)	Lithol ogie	Miner ai exploi té	Opérate ur	Etat	Process us	Observation	Date (2021)
OP-CM54	NW de Mbordai	14.163 6918	5.4439 907	909	granito ïde	NA	NA	NA	NA	Savane arborée	12/07
OP-CM55	Sud-est de Ndokayo,	14.092 3610	5.5583 732	923	granito ïde	NA	NA	NA	NA	savane	12/07
OP-CM56	Sud de Bétaré Oya,	14.109 9610	5.6441 592	830	schiste	NA	NA	NA	NA	savane arborée	12/07
OP-CM57	Riv. Mari,	14.111 5848	5.6412 520	698	schiste	alluvio nnaire / terrasse	various compani es	actif (gravier de constr uction)	excavatio n	ancienne exploitation alluvionnaire. Exploitée par AKA mining en 2012-2013 et d'autres compagnies, la dernière étant Climat Dubai et Ali Bashir. Maintenant les buissons repoussent sur le gravier, mais en saison sèche ils disparaissent. Le sable est collecté, chargé sur un camion pour être vendu à Betaré-Oya pour la construction. 20 personnes travaillent. Environnement : Vallée, Savane, zone urbaine. Le sable et le gravier sont moyennement à fortement arrondis, principalement des graviers moyens à gros, la matrice est principalement argileuse. Au sud se trouve un complexe de camp des chinois.	13/07
OP-CM58	Riv. Mari, ancienne exploitation alluvionnaire	14.113 5913	5.6403 245	696	schiste	alluvio nnaire	chinois	inactif	excavatio n	2012 - 2016 site minier, aujourd'hui de la végétation basse et quelques cultures de maïs. La végétation sur les anciens sites miniers pousse très lentement.	13/07
OP-CM59	Riv. Mari,	14.115 2208	5.6389 645	698	schiste	terrass e	chinois	actif	excavatio n	Camp chinois	13/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 102
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM60	terril / ancien bassin de décantation à Longa Mali	14.0705423	5.6175705	702	schiste	terrasse	chinois	actif	excavation, lavage	Entreprise Climat Dubai, ancien xingrong, a travaillé ici l'an dernier.  Bassin de décantation de 1 m de hauteur ; construction d'un barrage périphérique ; le bassin est traversé par un petit ruisseau à faible turbidité. Le bassin mesure environ 40 x 100 m	13/07
OP-CM61	Affluent du Mari. Re-lavage des graviers exploités	14.0671278	5.6241935	682	schiste	terrasse	Artisanal	actif	lavage	La plaine a été exploitée de manière alluvionnaire il y a 7 à 8 ans, elle est maintenant couverte d'une végétation de 2 m d'herbe et de buissons. Les artisans creusent dans le gravier. A l'est la roche altérée est en place, à l'ouest tout le gravier a été lavé. Exploitation artisanale d'une terrasse, d'environ 200 m de long Il y a 7 à 8 ans, le matériau de la terrasse a été exploité. Aujourd'hui, les artisans lavent à nouveau le matériau exploité  Lavage artisanal : travail des enfants Environs : colline avec une petite inclinaison (ca. 5°) terrasse ?	13/07
OP-CM62	Riv. Mari, banc NW	14.0619555	5.6271437	687	schiste	terrasse	Artisanal	actif	lavage	Exploitation minière d'une ancienne terrasse. Un grand étang minier est entouré de terrils de couleur orange avec de grands fragments de quartz arrondis qui dans le sédiment ne se touchent souvent pas mutuellement. La terrasse est située ca. 1 à 2 m au dessus de la plaine alluviale actuelle.	13/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 103
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM63	Rivière Mari exploitée et recouverte par l'herbe et des arbustes	14.338 3295	4.9526 957	682	schiste	alluvionnaire	chinois	inactif	excavation	exploitation minière en terrasse inactive Un grand étang d'eau est entouré de terrils. La zone environnante est exploitée, car on trouve partout des étangs d'eau et une végétation typique qui repousse (herbe et buissons). Savane, pas de forêt à côté de la rivière. Déforestation. Surfaces d'eau : Ruisseaux, étangs (diamètre : 5 - 20 m), l'eau est courante, boueuse, en partie très rouge (oxydée), étangs d'eau connectés.	13/07
OP-CM64	Village Mali SE	14.413 5372	4.4592 957	688	schiste	NA (village)	NA	NA	NA	Village Mali, côté SE du fleuve. Localisé sur des sédiments alluviaux, qui sont, au SE, bordés par des roches en place.	13/07
OP-CM65	Village Mali SE: Fragments de veine de quartz	14.432 1068	4.9880 080	701	schiste	roche	chinois	inactif	excavation, broyage	Ancien site de lavage de Mme Lu. Veine de quartz, mica non altéré, nombreux trous de 1-2 cm. NE SW.	13/07
OP-CM66	Village Mali SE:	14.381 6890	4.9819 435	724	schiste	roche	chinois	inactif	excavation	Grand puits à la pente. Le puits forme une falaise. La veine de quartz initialement exploitée n'est plus visible en place. Des artisans miniers lavent des sédiments dans la petite rivière en bas (au nord). Roche : des schistes rougeâtres affleurent. Ici, il y a eu des violences entre les villageois et les Chinois. Un Chinois a tiré sur un villageois dans l'agitation. Les villageois ont tué un Chinois. Le ministère est intervenu.	13/07
OP-CM67	Village Mali SE; fragments de veine de quartz exploitée	14.285 5683	5.1261 118	711	schiste	roche	chinois	inactif	excavation	Fragments de veine de quartz exploitée	13/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 104
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM68	Village Mali SE	14.4214070	4.4496525	704	schiste	roche	chinois	inactif	excavation	Village sur les alluvions	13/07
OP-CM69	Bétaré Oya SE; Site de traitement burkinabé	14.4186103	4.4704080	772	schiste	alluvionnaire	Burkinabé	actif	Lavage, broyage, cyanures	<p>Site de lessivage au cyanure d'un Burkinabé qui travaille depuis environ 2 ans ici. L'ouvrier parle mal le français. Les artisans creusent le sable, qui est ensuite filtré. La fraction fine du sable, la boue et l'eau sont mélangées dans le bassin avec le Zn. L'or est attaché au Zn. Le Zn est ensuite dissous avec de l'acide sulfurique, du cyanure. Danger pour la santé et l'environnement. Déclaration chimique : UN1830, IMO - 8, Acide sulfurique. 3 Bassins, environ 4 x 4 m, trou rectangulaire à côté du bassin avec grille en acier. Les sédiments proviennent d'une exploitation alluvionnaire dans un ruisseau proche. Ils ont été broyés à côté de la vallée par des artisans.</p> <p>Couverture végétale : Savane, agriculture (manioc). Certains membres du personnel portent des bottes. Pas de masques de protection contre les vapeurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zn + Au sont séparés de l'eau résiduelle. L'eau résiduelle est pompée dans un bassin sans bache --&gt; s'écoule dans l'environnement.</li> <li>Le mélange est rempli dans des seaux et stocké (temps de réaction --&gt; précipitation chimique de l'Au)</li> <li>Chauffage pour éliminer le Zn.</li> </ul>	14/07
OP-CM70	Bétaré Oya SE, Camp réfugiés	14.3708447	4.9965260	768	schiste	alluvionnaire	refugiés RCA	actif	lavage	Réfugiés centrafricains. Ils boivent l'eau de la rivière. Lavent l'or et louent l'endroit pour peu d'argent.	14/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 105
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



N°	Nom	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Lithologie	Minerai exploité	Opérateur	Etat	Processus	Observation	Date (2021)
OP-CM71	Betare Oya SE	14.3678857	4.9988107	773	schiste	alluvionnaire	artisanal	actif	lavage gravier, lavage vêtements	Station de lavage	14/07
OP-CM72	Surface exploitée 2 km NW de Bétaré Oya	14.3703443	5.0022318	680	schiste	alluvionnaire	chinois, semi mécanisé	actif	excavation, lavage	Les Chinois ont travaillé ici 2-3 fois. La végétation s'est re-installée.	14/07
OP-CM73	Bekade, NW de Bétaré Oya	14.3700700	5.0031780	675	schiste	alluvionnaire	chinois, semi mécanisé	actif	excavation, lavage	Plaine du Lom. Herbes..	14/07
OP-CM76	Bekade	14.0898948	5.6168055	675	schiste	alluvionnaire (relavage des graviers des chinois)	artisanal	actif	lavage	Riv. Lom. Herbes et arbustes.	14/07
OP-CM80	Village Mali	14.3623520	5.2588312	697	schiste	terrasse	artisanal	actif	excavation, lavage	Hauteur au-dessus de la plaine: > 8 m. Les artisans miniers n'ont pas encore atteint la terrasse. Les artisans peuvent emprunter l'excavatrice, de sorte que l'excavatrice transporte le gravier à l'endroit de lavage. 10 personnes, quelques enfants qui jouent et ne travaillent pas. Arbre typique de la région : Palmier Ronier.	14/07

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 106
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 4 Observations et résultats

### 4.1 Types de l'occupation des terres dans la zone d'étude

La zone d'étude comprend les zones principales de habitat suivantes (Annexe 15):

- Forêt dense dans le sud (Figure 32)
- Zone alternante entre savanne et forêts
- Savanne arborée à forêt galerie, avec une végétation dense dans les marécages et un paysage composé d'arbres isolés, adaptés aux conditions plus sèches, ainsi que d'herbes et de plantes invasives comme le "Bokassa", sur les plateaux (Figure 33).

Ces zones sont interrompues par

- des surfaces agricoles,
- la surface urbaine (bâtiments, routes, et autres infrastructures)
- zones minières
- surfaces d'eau



Figure 32 Zone de forêt dense avec plantation de babaniers au SW de Batouri (à gauche) et au sud de Batouri (à droite, site de Doumbekwaké, MS-CM16)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 107
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 33 Savane arborée en bordure de la Kadeï au sud de Colomines ; à gauche : *Bridelia femginea*, à droite : *Annona senegalensis* (MS-CM31)



Figure 34 Agriculture dans la zone. A gauche : Champs de maïs à Dem, à l'est de Batouri ; à droite : Champs de manioc dans la savanne arborée de Bétaré Oya (11/2013)



Figure 35 Paysage minier abandonné au sud de Colomines (MS-CM28)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 108
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

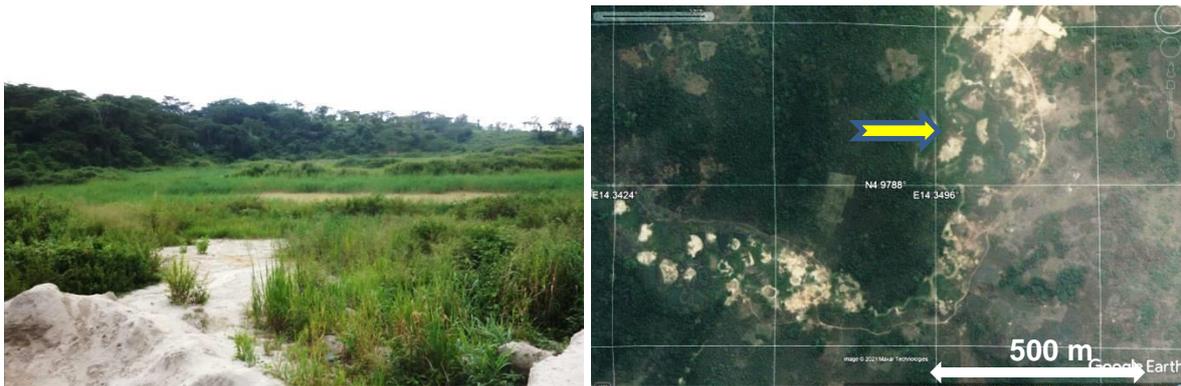


Figure 36 Plaine alluviale de la rivière du Gambadi à Colomines, exploitée de 2011 à 2017 de manière artisanale et semi-mécanisée; premier retablisement des herbes et des arbustes (MS-CM30).

## 4.2 Evolution des types de l'occupation des terres

Les cartes de l'occupation des terres pour 2002, 2015 et 2019 sont montrées à la Figure 37. Ces cartes sont présentées en format A3 dans les annexes 1, 2 et 3. La répartition des types d'occupation des terres en chiffres est indiquée au Tableau 14.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 109
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

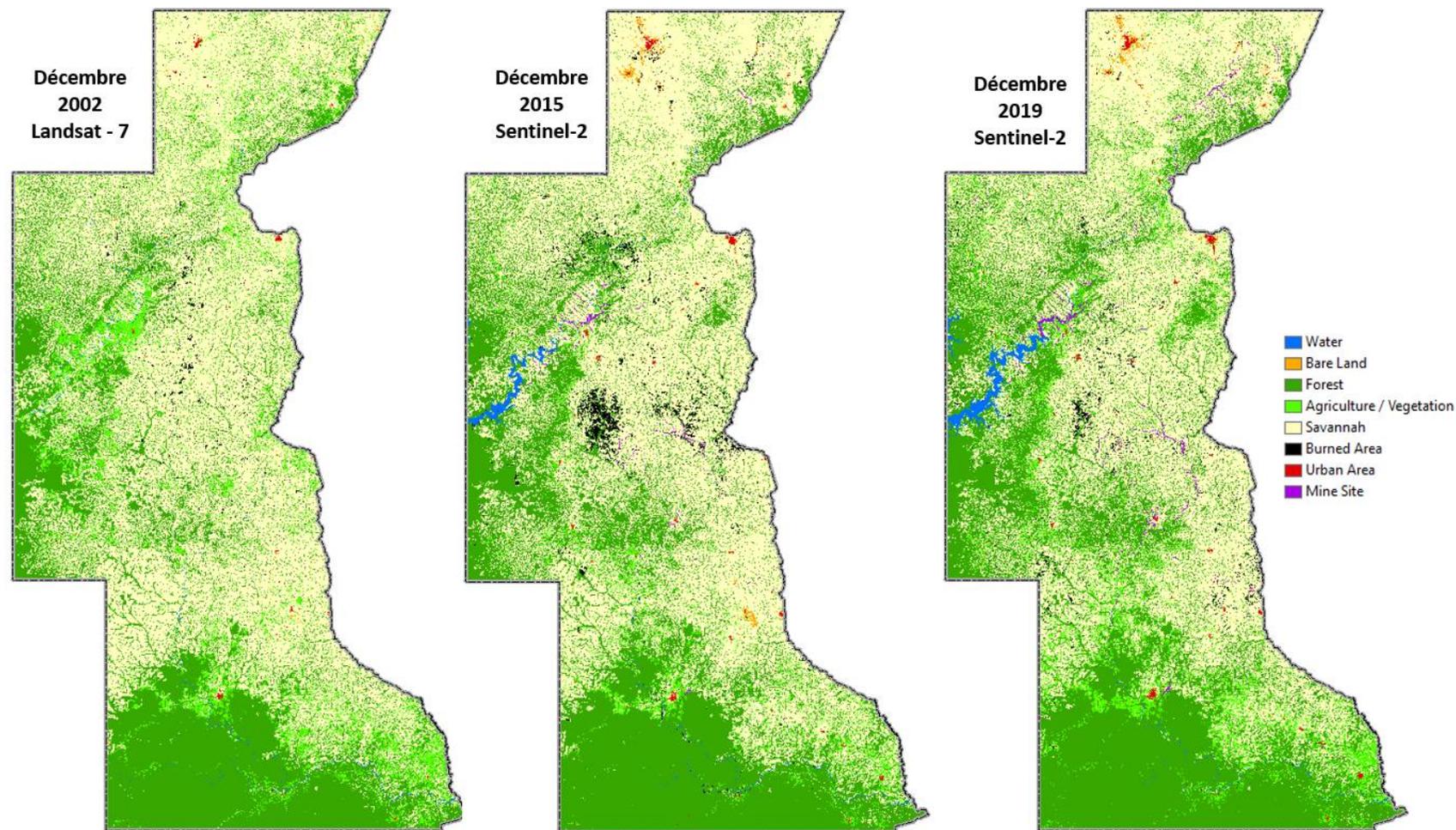


Figure 37 Types de l'occupation des terres dans les époques 2002, 2015 et 2019

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 110
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Tableau 14 Les types d'occupation des terres et leur évolution dans la zone d'étude

Type d'occupation des terres	2002 (km <sup>2</sup> )	2015 (km <sup>2</sup> )	2019 (km <sup>2</sup> )	2002 (%)	2015 (%)	2019 (%)
Barrage Lom-Pangar		105.28	211.04	0.00	0.38	0.77
Rivières, lacs	68.93	45.21	42.49	0.25	0.16	0.15
Terres dénudées	30.54	79.29	80.43	0.11	0.29	0.29
Forêt	9 338	10 589	10 949	33.9	38.5	39.8
Agriculture / Végétation basse	2503.4	1186.8	2281.7	9.10	4.31	8.29
Savane / zones brûlées	15 547.3	15 376.3	13 738.8	56.49	55.86	49.92
Zone urbaine	35.64	67.09	84.25	0.13	0.24	0.31
Zone minière, sans étangs d'eau résiduels		65.38	115.74	0.00	0.24	0.42
Etangs restants de l'activité minière		9.64	20.19	0.00	0.04	0.07
zones minières (terres et étangs résiduels)		75.03	135.93	0.00	0.27	0.49
Total	27 524	27 524	27 524	100.00	100.00	100.00

Nous constatons une évolution dynamique entre les différents types d'occupation des terres.

Les faits suivants sont à remarquer:

- La surface minière (total des surfaces dévastées et des étangs d'eau restants) a évoluée d'une valeur proche de zéro en 2002 à 136 km<sup>2</sup> (0,5 % de la zone d'étude) en 2019.
- La zone forestière a aussi augmentée, passant de 9 338 km<sup>2</sup> (33,9%) en 2002 à 10 950 km<sup>2</sup> (39,8%) en 2019.
- La surface urbaine est passée de 36 km<sup>2</sup> (0,13%) en 2002 à 84,2 km<sup>2</sup> (0,3%) en 2019.
- Les zones de savane (y compris les terres brûlées) sont passées de 15 547 km<sup>2</sup> (56,6%) en 2002 à 13 738 km<sup>2</sup> (49,9%) en 2019.

La Figure 38 montre les tendances d'évolution de l'occupation des terres des années 2015 et 2019 par rapport à 2002 (période de référence) en échelle logarithmique.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 111
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

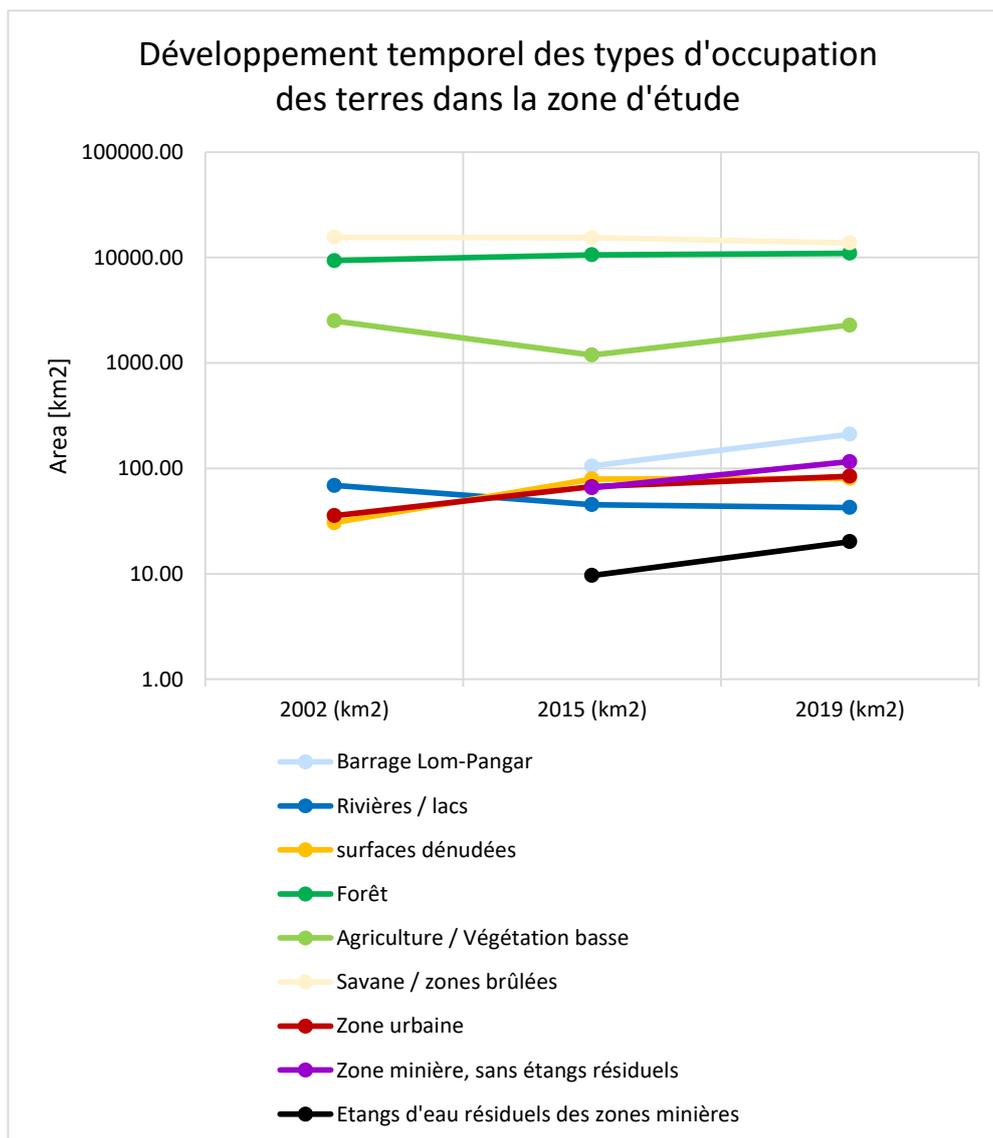


Figure 38 Représentation graphique des tendances évolutives des différents types de l'occupation / utilisation des terres par rapport à l'époque de référence (2002).

Ces valeurs calculées à partir des données de télédétection sont influencées par des facteurs phénologiques, notamment les changements des taux de précipitations entre les trois époques de collection des données.

Pour mieux comprendre la dynamique de l'occupation des terres nous analysons le changement entre les différents types d'occupation des terres, à savoir: quelle type d'occupation des terres en 2002 ou en 2015 a été converti en quel type en 2015 ou 2019.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 112
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



#### 4.2.1 Conversion en zone minière

La transformation des différents types de l'occupation des terres vers la zone minière est montrée au Tableau 15, et aux Figure 39 et Figure 40.

Tableau 15 Conversion des différents types de l'occupation des terres vers des zones minières ( en km<sup>2</sup>)

Type d'occupation des terres	Conversion des différents types de l'occupation des terres en zone minière 2002-2015	Conversion des différents types de l'occupation des terres en zone minière 2015-2019
Rivières / lacs	0,94	2.30
surfaces dénudées	0,17	0.16
Forêt	35,06	33.87
Agriculture / Végétation basse	20,02	7.19
Savane (y compris zones brûlées)	18,83	33,87
Zone urbaine	0.02	0.03
Total de la zone minière (année de référence)	75,03	135,56
Zone minière transformée en autre type de l'occupation des terres	0.00	65.38

Lors de la première période entre 2002 et 2015, la zone minière s'est développée en consommant principalement de la forêt et dans une moindre mesure la savane et des surfaces agricoles. Cette évolution s'explique par le fait que l'exploitation minière alluviale s'est développée principalement dans les vallées abritant des forêts-galeries. Au cours de la deuxième période, entre 2015 et 2019, une petite partie de la zone minière a été convertie en autres types de surface, en raison d'une repousse naturelle de la végétation, mais la majeure partie de la zone minière de 2015 est toujours classée zone minière en 2019. Entre 2015 et 2019, la zone minière a encore augmenté en consommant principalement de la forêt et de la savane. Néanmoins, en 2019, la part totale de la zone minière est encore relativement faible (0,5 % du total de la zone d'étude). Le problème devient évident si l'on compare la longueur des vallées détruites (Annexe 12), comparée à la longueur totale des vallées (voir section 5.2.1).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 113
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

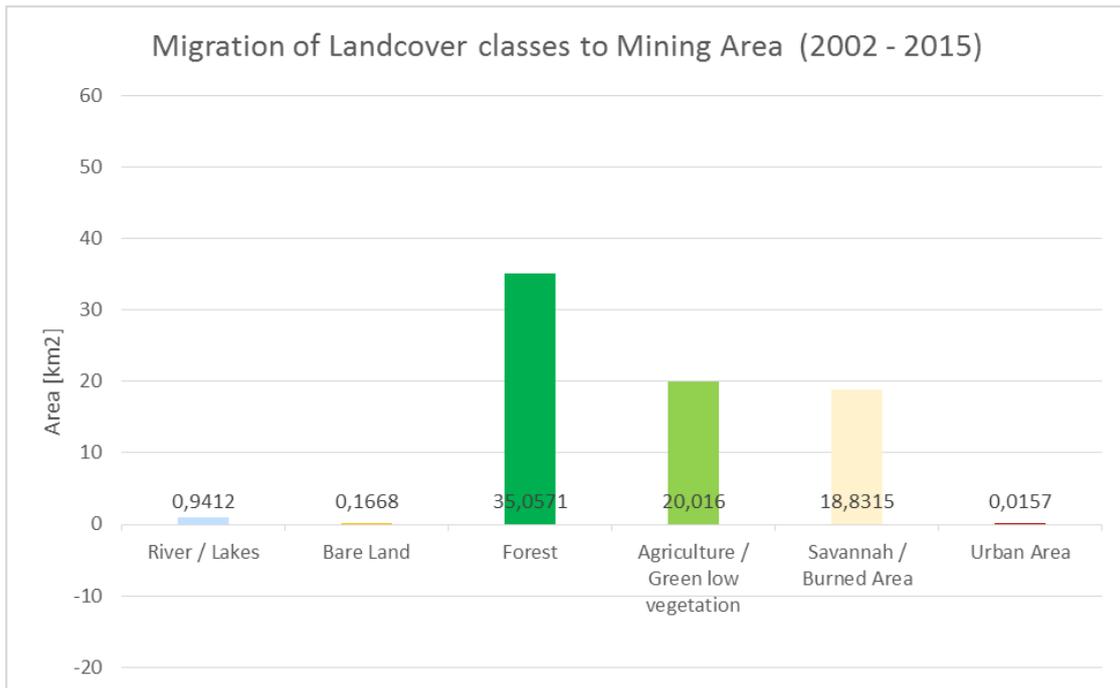


Figure 39 Conversion des types d'occupation des terres en zone minière entre 2002 et 2015

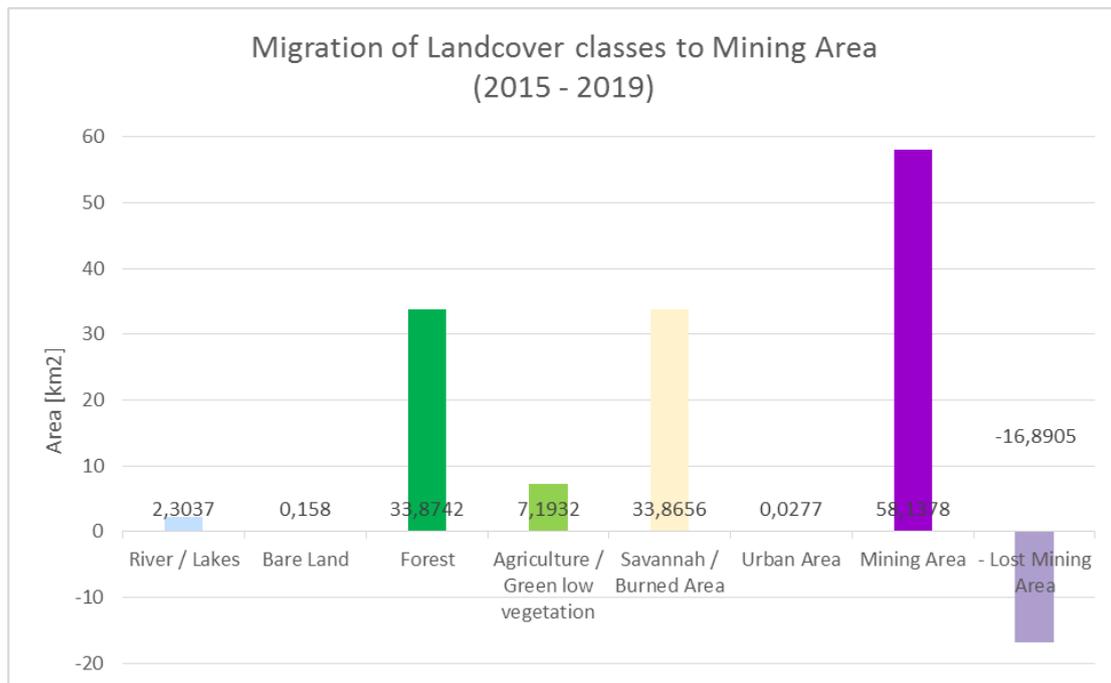


Figure 40 Conversion des types d'occupation des terres en zone minière entre 2015 et 2019

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 114
	Autorisé	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



## 4.2.2 Conversion en zone forestière

La conversion des différents types d'occupation des terres en zone forestière est indiquée au Tableau 16, à la Figure 41 et à la Figure 42.

Tableau 16 Conversion des différents types de l'occupation des terres en zone forestière

Type d'occupation des terres	Conversion des différents types d'occupation des terres en zones forestières (2002 - 2015)	Conversion des différents types d'occupation des terres en zones forestières (2015 - 2019)
Rivières / lacs	11.89	2.77
surfaces dénudées	0.33	0.04
Forêt	8669.47	9871.65
Agriculture / Végétation basse	674.53	253.09
Savane / zones brûlées	1232.78	819.19
Zone urbaine	0.22	0.03
Zone minière	0	2.88
Total de la surface forestière (année de référence)	10589.23	10949.66
Zone forestière perdue	-668.88	-717.57
Zone forestière augmentée	1919.76	1078.01
Balance	1250.88	360.44

L'analyse de ces changements montre que la zone forestière a augmenté principalement en raison de la transformation de la savane et, dans une moindre mesure, de la transformation des surfaces agricoles et de la végétation basse. Cela peut indiquer que quelques activités agricoles ont cessé et que la végétation naturelle s'est rétablie lentement sur ces surfaces. Il y a également une petite quantité de forêt qui semble avoir repoussé dans les anciennes zones minières (2,88 km<sup>2</sup>, de 2015 à 2019). La part totale de la forêt s'élève à près de 40 % de la zone étudiée.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 115
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

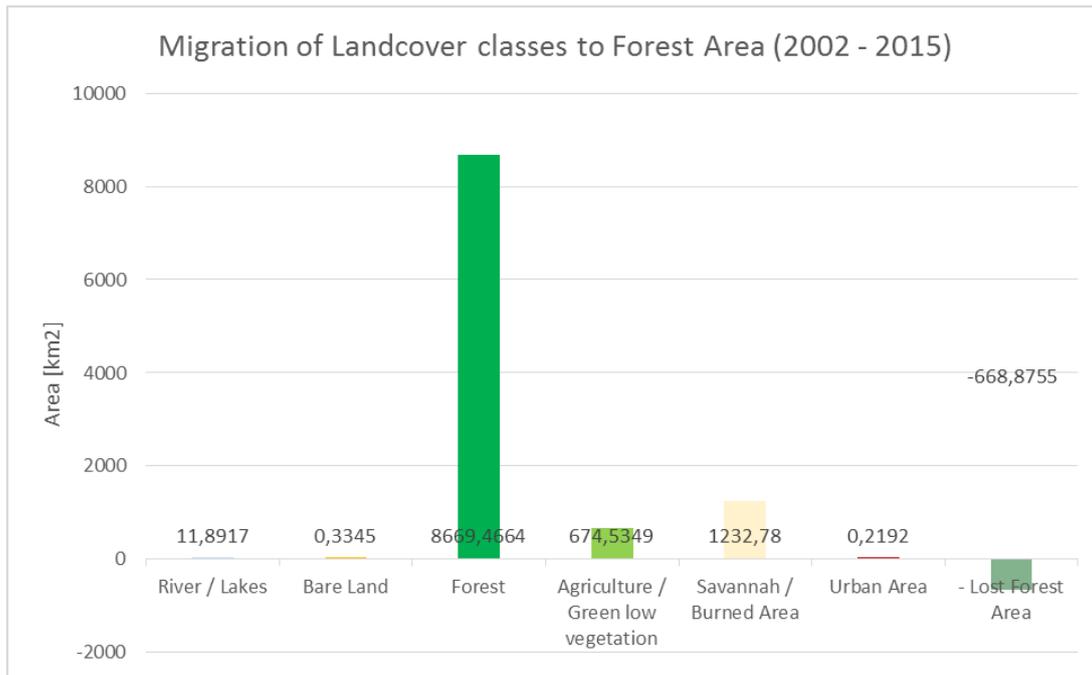


Figure 41 Conversion des types d'occupation des terres en zone forestière entre 2015 et 2019

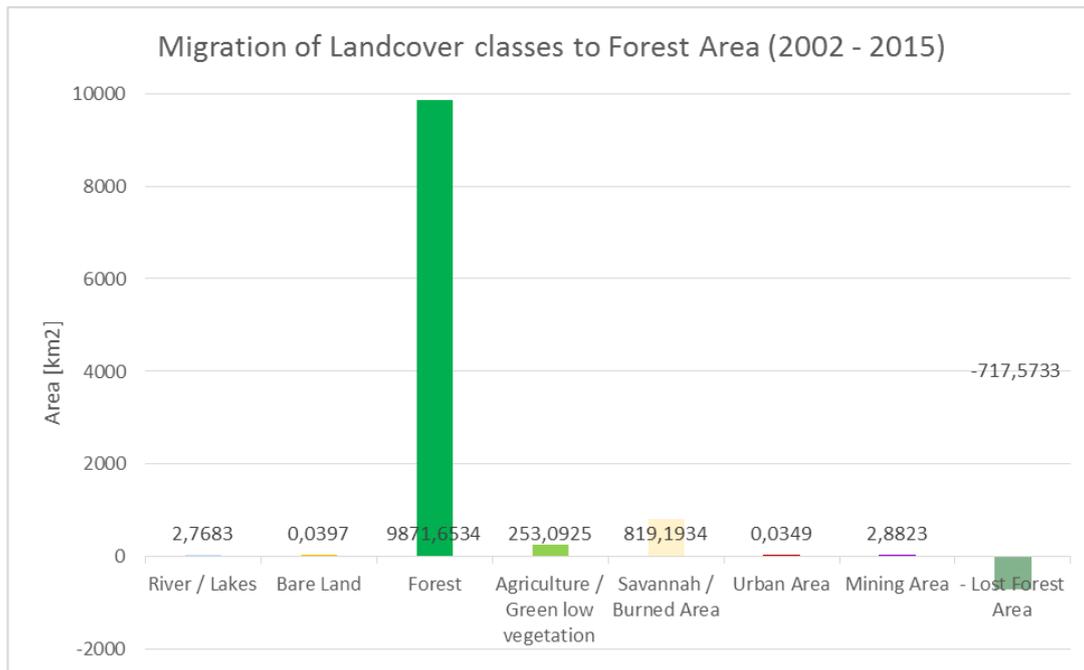


Figure 42 Conversion des types d'occupation des terres en zone forestière entre 2015 et 2019

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 116
	Autorisé	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



### 4.2.3 Conversion en zone urbaine

En 2019, une superficie totale de 84,2 km<sup>2</sup> (0,31 % de la zone d'étude) a été identifiée comme zone urbaine. Cette surface n'a cessé de croître entre 2002 et 2019: En 2002, elle ne représentait que 35,64 km<sup>2</sup>.

La transformation des différents types de l'occupation des terres en zone urbaine est indiquée au Tableau 17, à la Figure 43 et à la Figure 44.

Tableau 17 Conversion des types de l'occupation des terres en zone urbaine

Type d'occupation des terres	Migration des types d'occupation des terres vers de la zone urbaine (2002 - 2015)	Migration des types d'occupation des terres vers de la zone urbaine (2015 - 2019)
Surfaces dénudées	0.32	3.28
Forêt	0.31	0.29
Agriculture / Végétation basse	4.66	1.65
Savane / zones brûlées	31.57	16.31
Zone minière		0.01
Zone urbaine	30.23	62.71
Total de la zone urbaine	67,09	84,25
Zone urbaine perdue	-5.40	-4.38

La plupart des zones urbaines ont été développées sur d'anciennes surfaces de savane, suivi par des surfaces agricoles / de végétation basse. On peut donc constater que les zones urbaines consomment des zones moins importantes en termes d'empreinte carbone et de biodiversité que les zones minières.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 117
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

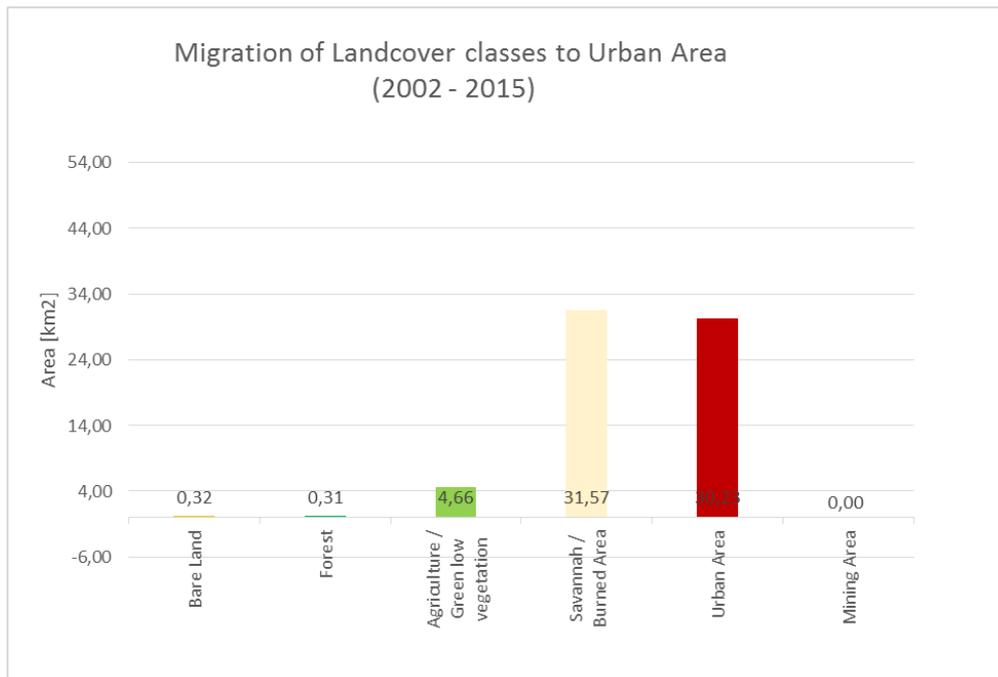


Figure 43 Conversion des types d'occupation des terres en zone urbaine entre 2002 et 2015

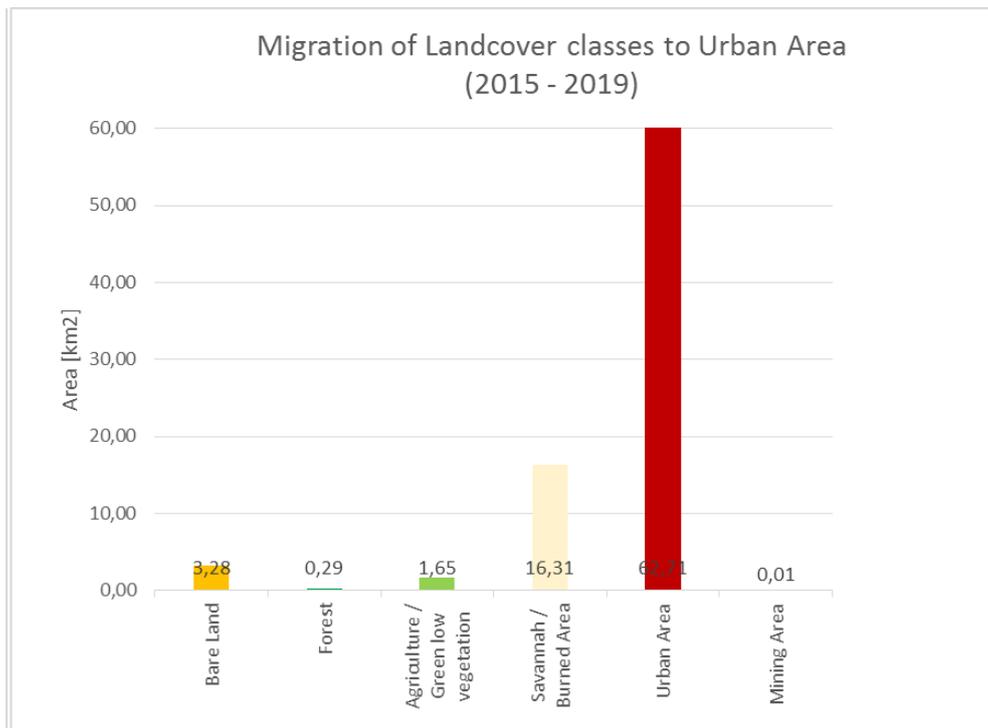


Figure 44 Conversion des types d'occupation des terres en zone urbaine entre 2015 et 2019

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 118
	Autorisé	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	



#### 4.2.4 Exemples régionaux

Pour illustrer la transformation du paysage due aux activités minières entre 2002 et 2019, deux zones sont présentées aux environs des villes de Bétaré Oya et Colomines (Figure 45, Figure 46). Le développement rapide des zones minières a entraîné des transformations radicales des types de l'occupation des terres. Une grande partie de la forêt et de la végétation basse a disparu, laissant place à des terres dénudées. Les zones urbaines se sont également étendues, lié entre autres à l'évolution de l'activité minière. Par contre, de nouvelles forêts ont poussé dans des paysages non concernés par les mines.

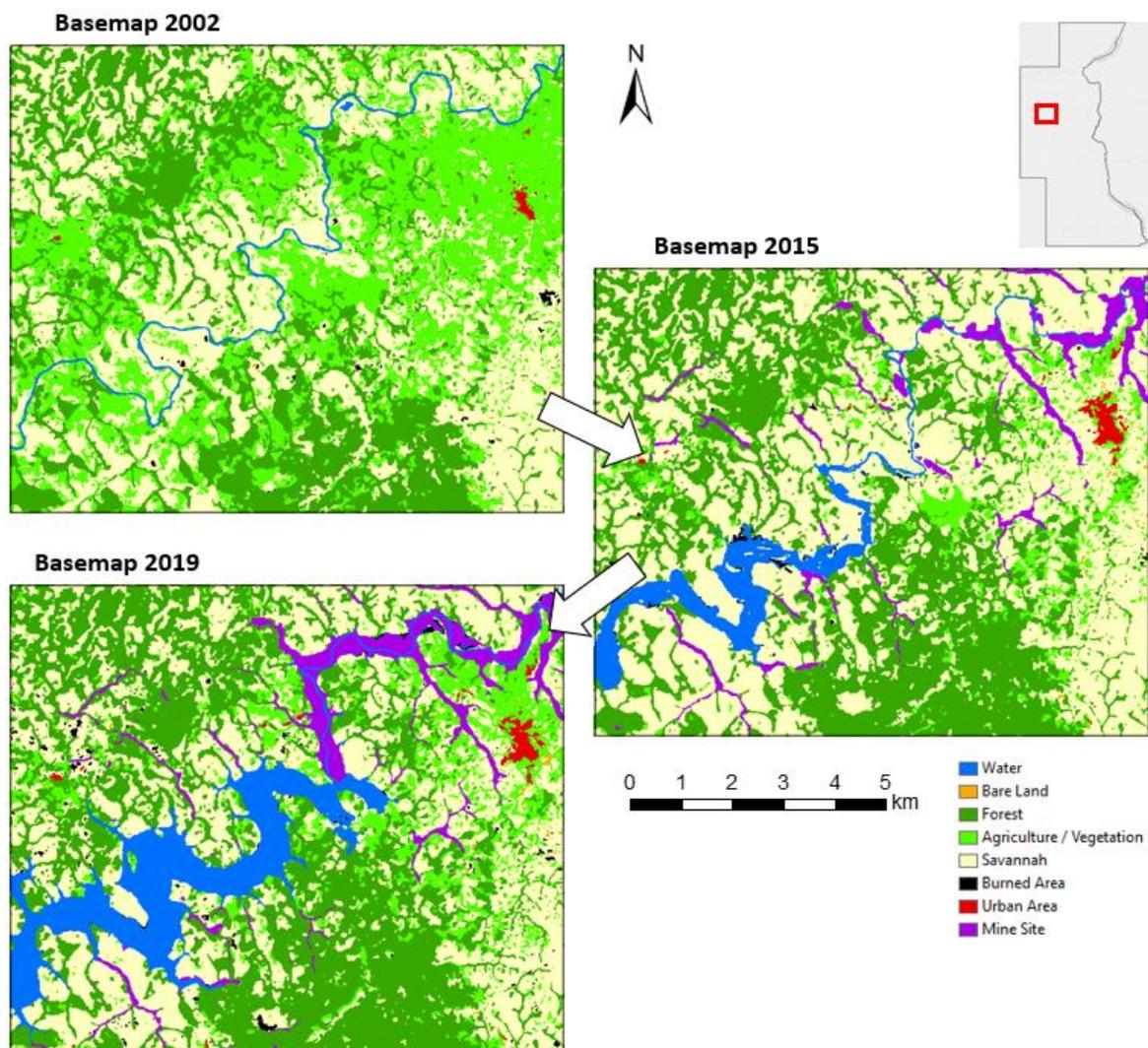


Figure 45 Évolution des types de l'occupation des terres pour une zone sélectionnée à l'ouest de Bétaré Oya

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 119
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

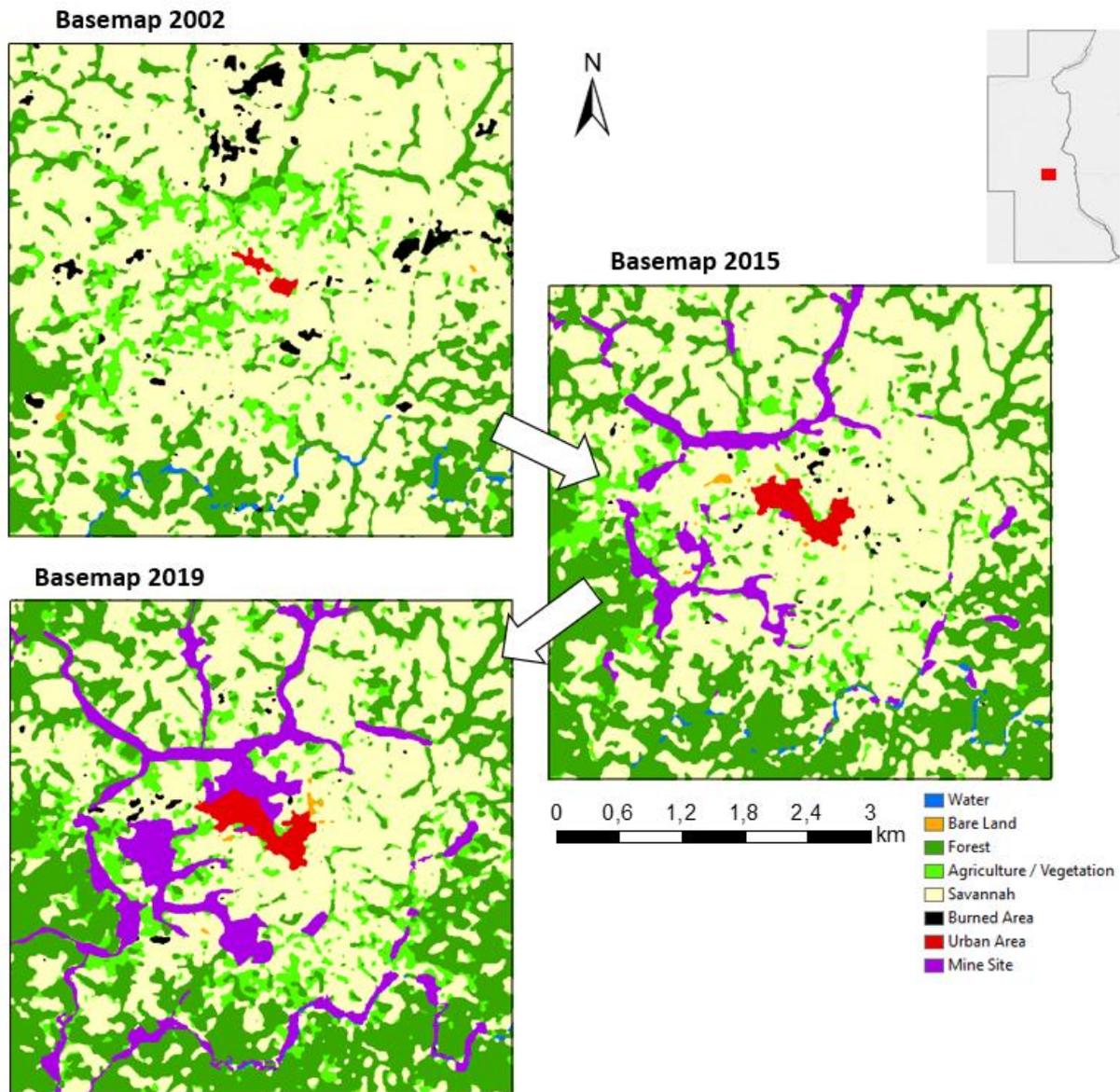


Figure 46 Evolution des types de l'occupation des terres pour la zone de Colomines

La Figure 47 montre la transformation de la végétation basse en nouvelles zones forestières dans la zone de Bambouti au nord de Giwa - Yangamo. Ce phénomène permet de mieux comprendre un autre changement important dans l'occupation des terres entre 2002 et 2015, à savoir l'évolution de zones de végétation basse en zones forestières. En 2019, on observe de nouveau des pertes de forêt par rapport à 2015.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 120
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

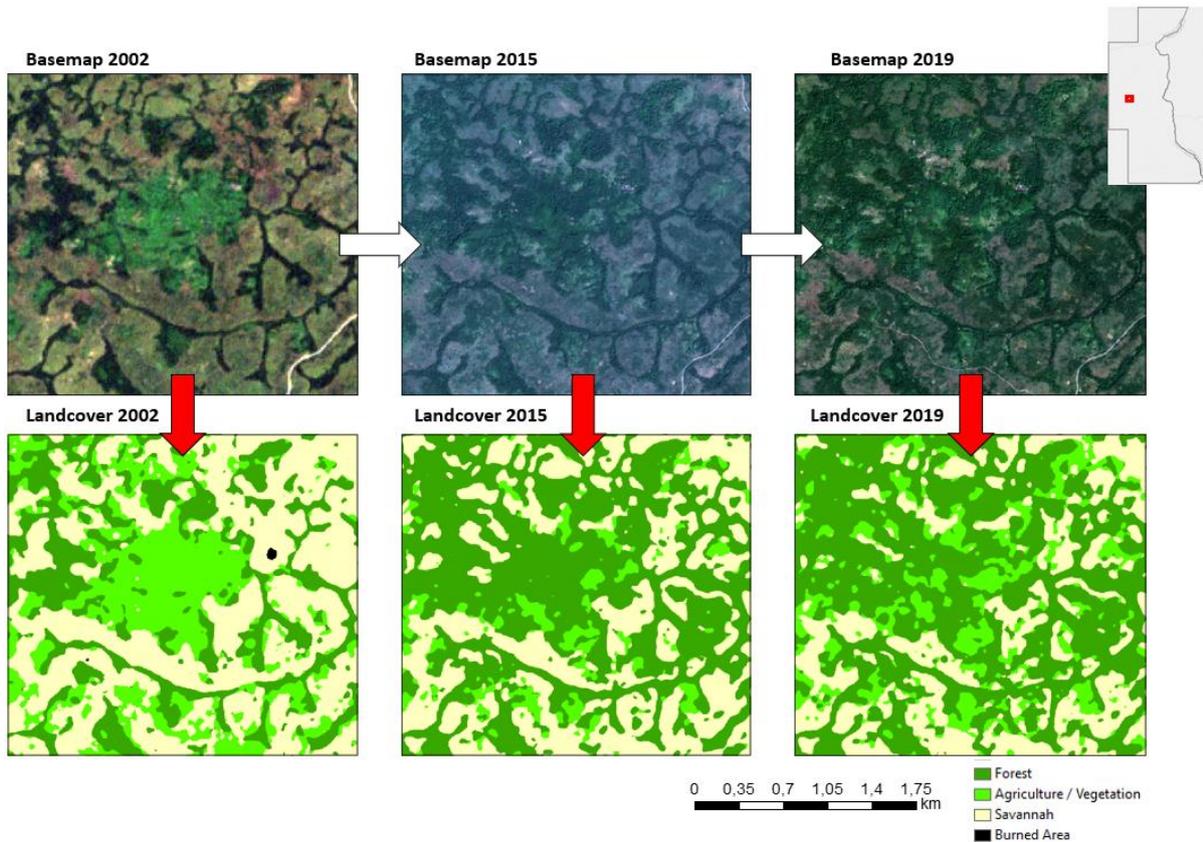


Figure 47 Exemple de croissance forestière, passant de végétation basse à forêt ; zone de Bambouti

Un exemple de variations phénologiques de la végétation, et de l'effet qui en découle sur les classes "Savane" et "Végétation basse" est donné à la Figure 48 pour la zone de Nyabi au nord de la route N10 Batouri - Kendzou. Ce phénomène décrit les changements de la végétation et de la savane entre 2015 et 2019.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 121
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

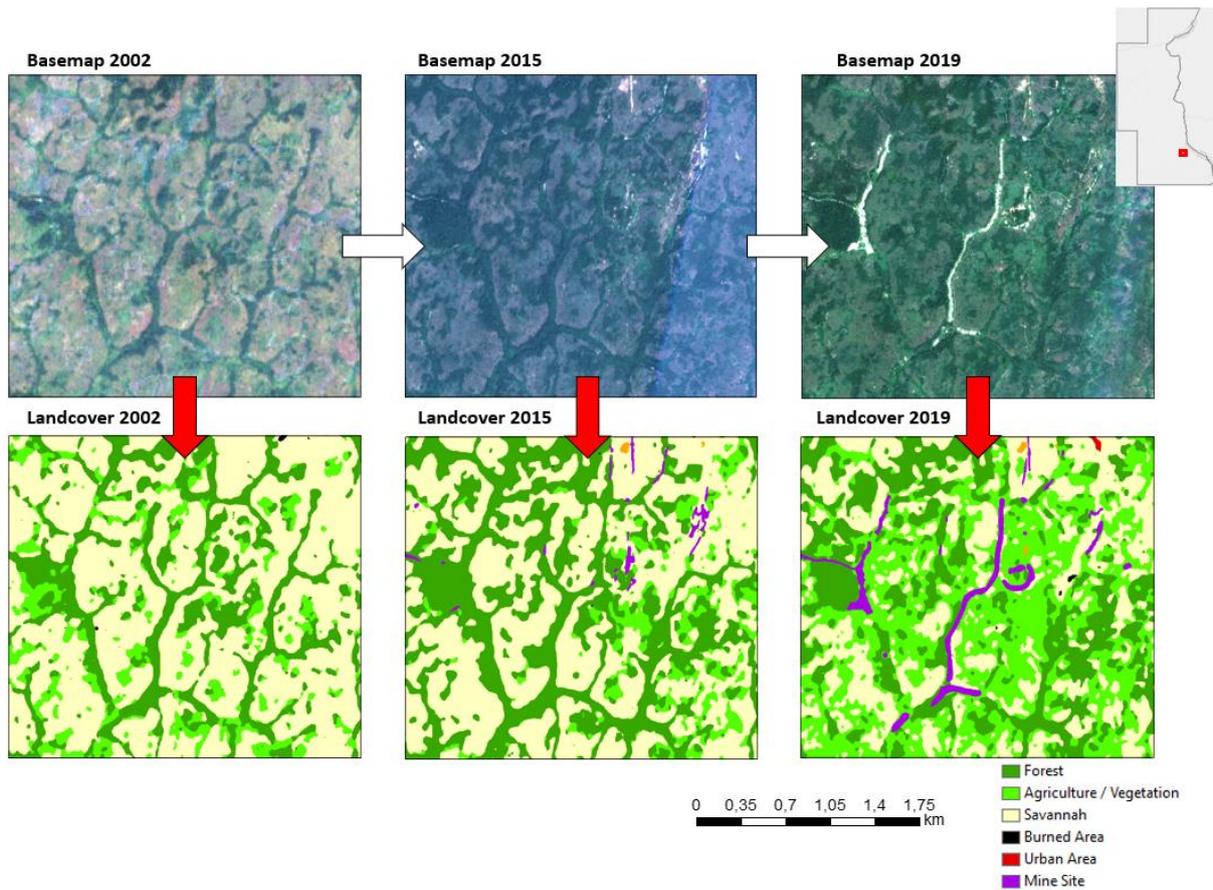


Figure 48 Exemple de variations phénologiques et de changements dans l'occupation des terres, de la savane à la basse végétation ; zone au nord de Nyabi

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 122
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 5 Synthèse et discussion

### 5.1 Technologie minière et dommages environnementaux associés

#### 5.1.1 Exploitation alluvionnaire

##### 5.1.1.1 Exploitation minière artisanale manuelle des alluvions

L'exploitation de l'or alluvionnaire des placers provenant de petits ruisseaux et d'une profondeur relativement faible (environ 0,5 - 3 m) est pratiquée depuis de nombreuses années par les artisans miniers de l'Est et du Sud du Cameroun. Au départ, ce travail était effectué uniquement à la pelle, la pioche, la barre à mines, le sluice et la batée (Figure 49). Il est maintenant soutenu par des motopompes et d'autres équipements. Les techniques de ce travail dépendent non seulement de la géologie et de la morphologie des sites exploités, mais aussi de la région et des ethnies pratiquant les activités. L'exploitation minière est pratiquée en partie par les habitants des régions concernées et en partie par des migrants venus d'autres régions et pays. Certains préfèrent les placers alluviaux, d'autres visent les veines de quartz. A ce jour, toutes les populations ne sont pas encore familiarisées ni prêtes à pratiquer la prospection et l'exploitation de l'or.

Les techniques manuelles d'exploitation des alluvions fournissent des revenus limités mais constituent un salaire complémentaire par exemple en saison sèche lorsque les activités agricoles cessent. Les sites alluviaux exploités artisanalement sont souvent épuisés au bout de quelques mois, beaucoup plus vite que sites miniers dans les roches primaires. Cependant, si les concentrations en Au sont suffisantes, les artisans miniers ont tendance à revenir sur les sites exploités au moment où de meilleures techniques sont disponibles. A titre d'exemple, le placer aurifère de la rivière Mboscorro à Kambele faisait l'objet d'une exploitation alluvionnaire depuis des décennies [14]. Les orpailleurs y sont retournés à plusieurs reprises en utilisant des techniques améliorées d'évacuation de l'eau pour atteindre finalement ca. 6 m de profondeur.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 123
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 49 à gauche : site d'exploitation alluvionnaire « Derrière l'Ecole » à Colomines (MS-CM24) ; à droite : Batés et sluices sur un site minier alluvionnaire, affluent du Mbil à l'Est de Kambele, en 2014

### 5.1.1.2 Exploitation alluvionnaire artisanale semi-mécanisée

A partir d'environ 2009 et pendant les années suivantes, les premières sociétés étrangères ont commencé l'exploitation des placers alluvionnaires au Cameroun avec des techniques semi-mécanisées. Il s'agit par exemple des exploitants chinois à Bétaré Oya (rivières de Mari, Boyo, Nakoyo et beaucoup d'autres), de la société coréenne GOLDEX à Colomines (rivières de Gambadi et Bonianga), ou encore de la société grecque Metalicon à Kambele (rivière du Djongo, plus tard Mbil et Amoscelain). A partir d'environ 2013, les rivières dans la savanne entre Ndokayo, Colomines et Kette / Bengue Tiko faisaient l'objet de l'exploitation chinoise (rivières Woumbou, Moul, Bela, Batong et différents affluents de la Kadeï). La région frontalière avec la RCA a aussi attiré des exploitants, comme le montre l'exemple de la rivière de Beke au nord de Boubara et Gbiti (voir annexe 1 et suivants).

La majeure partie de l'or alluvionnaire est située à la base des graviers qui – dans la majorité des rivières de la zone d'étude – reposent directement sur le socle altéré.

Les placers sont généralement exploités par les technologies semi-mécanisées suivantes (voir Figure 50 à Figure 54) :

- Le cours d'eau est dévié dans un canal au bord du marécage, de sorte que presque toute la surface de la plaine puisse être exploitée. (Avant env. 2017, seules les

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 124
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



petites cours d'eau étaient déviées. De 2017 à 2019, même les deux grandes rivières – la Kadeï et le Lom - ont été déviées sur d'importants intervalles dans la zone d'étude).

- La végétation forestière et buissonneuse est défrichée sur toute la surface ciblée.
- La terre et les recouvrements argilleux à sableux ne contenant pas ou peu d'or sont enlevés, puis empilés ou jetés dans les puits déjà exploités (Figure 50).
- La couche du gravier aurifère est excavée jusqu'à la base du sédiment. Dans certains cas, le socle argileux altéré (ancien granitoïde ou métamorphite) est exploité dans sa partie supérieure où de petites particules de minéraux lourds provenant du gravier ont pu pénétrer (Figure 51).
- Parfois, le gravier est transporté hors du puit vers une station de lavage centrale, souvent à l'aide de plusieurs excavatrices (Figure 52). Dans d'autres cas - lorsque le puit est plus profond ou large, le processus de lavage peut se faire à l'aide d'installations de lavage mobiles directement à l'intérieur du puit (Figure 54).
- Les sédiments excavés sont tamisés en utilisant un certain maillage (1 à 2 cm).
- La fraction à gros grains est déversée comme matériau stérile sur des sites séparés.
- Les fractions fines sont lavées sur les sluices, les pépites sont recueillies dans un « catcher » au début du processus, les minéraux lourds plus fins se déposent sur des tapis, qui sont régulièrement changés. Les tapis sont rincés dans des bassins et le concentré obtenu est passé sur une table vibrante ou lavé manuellement à la batée pour extraire l'or. Dans la dernière étape de l'extraction, il est souvent nécessaire de souffler l'or pour l'enlèvement des impuretés, mais l'amalgamation par le mercure a généralement remplacé cette technique.

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 125
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



Figure 50 Préparation de l'exploitation alluvionnaire sémi-mécanisée: a) défrichage, b) déviation de la rivière dans un canal, c) enlèvement du sol, d) recouvrement empilé ; Opération de Metalicon S.A. à la rivière du Djongo, Kambele, 2013 [13]



Figure 51 Le bedrock typique en dessous des alluvions est profondément altéré. Ici : granitoid complètement converti en matière argilleuse, provenant d'un puit de prospection au NW de Batouri.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 126
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 52 à gauche : enlèvement du gravier et chargement sur le camion ; à droite : lavage à la sluice [13]



Figure 53 Appareil de tamisage d'une compagnie chinoise exploitant un gravier d'une ancienne terrasse à la vallée du cours d'eau Bediri à Longamali au NE de Bétaré Oya (MS-CM39)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 127
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 54 à gauche: profile sédimentaire typique dans les flats de la zone de Bétaré Oya : gravier grossier de ca. 1 m d'épaisseur couvert par du sable et du silt argilleux. A droite: excavation du gravier de la rivière Nakoyo à Bétaré Oya par une compagnie Chinoise en 2013. Lavage à l'intérieur du puit avec des stations mobiles.

Les résultats typiques de ce processus sont :

- Des vastes surfaces sont consommées pour l'exploitation et pour la construction des infrastructures. Rien que pour les routes des camions comme le montre la Figure 55, une exploitation alluvionnaire peut causer une déforestation d'une vingtaine d'hectares [13].
- Les lits des rivières sont déviés. Dans certains cas, l'eau est conduite vers l'ancien lit de la rivière après l'opération (MS-CM31, Figure 56 gauche). Dans d'autres cas, le canal de déviation continue à transporter la majeure partie de l'eau, et l'eau dans l'ancien lit de rivière devient stagnante (exemple MS-CM23). Souvent en saison des pluies, les surfaces des étangs artificiels couvrent presque la totalité des flats (Figure 56).
- Les grandes rivières comme la Kadeï et le Lom sont envasées car les boues et les eaux usées sont rejetés directement ou indirectement dans leurs eaux courantes. Cela se manifeste par la turbidité détectée par télédétection (Annexes 4 – 6 et 18).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 128
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- Dans les vallées des petites rivières : des séries de bassins d'eau séparés par des barrages remplacent les eaux initialement courantes.
- Souvent on observe une combinaison de ce qui précède.



Figure 55 Deforestation pour l'aménagement des routes minières à Kambele [13]



Figure 56 à gauche : déviation de la Kadeï ca. trois ans après exploitation (MS-CM31); à droite : paysage d'étangs après exploitation alluvionnaire dans la plaine du Djongo, Kambele [13]

Dans tout les cas, les propriétés et fonctionnalités hydrogéologiques des sédiments alluviaux sont complètement détruites :

- L'aquifère n'existe plus

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 129
	Autorisé	x					
Fichier: 2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc							



- Les couches argilleuses / silteuses couvrant les aquifères sont complètement détruites.
- La capacité de stockage de l'eau des sols à granulométrie fine (silteuse) est fortement réduite.

Comme les graviers aurifères recouvrent souvent l'ensemble des plaines alluviales, la végétation ou les cultures agricoles concernées sont complètement détruites. L'environnement géologique post-exploitation est constitué :

- de piles de graviers stériles / matériaux à gros grains.
- de bassins remplis d'eau et de boues.
- Souvent, les piles de gravier sont séparées des matériaux fins. La structure initiale en couches de l'aquifère n'existe plus.
- Finalement, l'or dans des intervalles de plusieurs kilomètres de placers alluvionnaires est exploité au bout de quelques mois, et les orpailleurs travaillant manuellement n'ont plus de revenu.

### 5.1.1.3 Dragage dans les lits de rivière

Les rivières Lom et Kadeï font l'objet d'activités de dragage depuis environ 2012. Bien qu'elle soit interdite, la technique a longtemps été pratiquée par des opérateurs semi-mécanisés. A la connaissance des agents du CAPAM, les compagnies semi-mécanisées respectent actuellement la loi qui interdit les activités dans le lit des rivières dans la zone d'études. Cependant, des artisans miniers continuent à travailler avec des pontons et des tubes d'aspiration, comme observé à la Kadeï au sud de Colomines (Figure 57).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 130
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 57 Pontons de dragage à la Kadeï au SE de Colomines (MS-CM31)

#### 5.1.1.4 Exploitation des graviers des anciennes terrasses

Dans deux cas pendant le travail de terrain, au niveau de la rivière Mari près de Bétaré Oya, l'exploitation de terrasses anciennes a été observée : Point MS-CM39 (Figure 58, Figure 59) et et OP-CM62 (Figure 60). Il s'agit de placers déposés pendant une époque où le niveau de la rivière était quelques mètres plus haut, et qui se trouvent aujourd'hui au bord de la vallée. Ils diffèrent des graviers alluvionnaires récents par leur couleur jaune à orange, de sorte que l'apparence en télédétection est partiellement similaire à l'exploitation de roches primaires. Leur texture se caractérise par une fraction plus argileuse qui inclut des grands fragments de quartz (ca. 5 à 20 cm) bien arrondis (Figure 58).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 131
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 58 Gravier d'une ancienne terrasse au bord de la vallée du Bediri à Longamali, au NE de Bétaré Oya (MS-CM39)



Figure 59 Le gravier est exploité par une société chinoise ne souhaitant pas indiquer son nom (MS-CM39)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 132
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 60 A gauche : terrasse exploitée au nord de la plaine de la rivière Mari (en arrière-fond); à droite : végétation arbustive s'installant sur le teruil, le gravier resté dénudé (OP-CM62)

## 5.1.2 Exploitation de l'or à partir des roches primaires

### 5.1.2.1 Exploitation artisanale sélective de l'or filonien

Les veines de quartz sont exploitées depuis beaucoup d'années dans les « points chauds » de l'artisanat minier de Kambele et Colomines. Ces sites sont caractérisés par la présence d'un réseau dense de veines de quartz et de minéralisations dissimulées. La Figure 61 (gauche) montre le site « Monaco » (MS-CM07) à Boukarou qui se trouve au voisinage directe d'une grande carrière de l'opérateur chinois « Peng Cheng Mining ».

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 133
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 61 à gauche : Site d'exploitation artisanale « Monaco » à Kambele (MS-CM07) ; à droite : image satellite des veines de quartz exploitées par les artisans miniers 1 km NNE de Woumbou (Google earth, mars 2020).

Cette carrière artisanale s'est construite uniquement à la pelle et pioche. Elle mesure 20 m de profondeur et ca. 50 m en largeur.

Dans d'autres cas, les veines de quartz / zones de stockwork sont exploitées en souterrain. Le concassage se fait souvent dans des moulins adaptés, originellement utilisés pour le broyage du cassava (Figure 62).

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 134
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021
Fichier: 2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 62 à gauche : Exploitation artisanale souterraine d'une zone de stockwork altérée à Boukarou (Kambele III) en 2014 ; à droite : Concassage / broyage du matériel des veines de quartz, avec développement permanent des poussières

En plus de ces points chauds d'exploitation, il y a des veines de quartz dispersées dans d'autres endroits de la zone d'étude. La Figure 61 (à droite) montre l'image satellite des veines exploitées à partir de 2019 au NNE de Woumbou). Habituellement, l'exploitation de ces veines isolées ne mène à des ruées vers l'or que pour quelques mois.

### 5.1.2.2 Exploitation des zones d'altération des roches aurifères par des companies mécanisées

Comme les placers facilement accessibles ont été de plus en plus exploités, depuis 2016 / 2017, l'attention des sociétés d'exploitation d'or s'est portée sur les roches primaires situées en dehors des vallées. La minéralisation aurifère est cherchée dans les zones de veines de quartz, des stockworks, et des zones où l'or est finement disséminé dans les granitoïdes ou les roches métamorphiques). Parfois la roche exploitée ne montre pas la présence des veines de quartz visibles, et parfois ce sont les placers éluvionnaires se formant à partir des roches présentant de l'intérêt.

Les technologies utilisées pour l'exploitation de l'or à partir des roches primaires couvrent un large éventail selon le type d'exploitation à petite échelle, semi-industrielle et industrielle. Les

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 135
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



technologies typiques sont le concassage, le broyage suivi de la séparation par gravité de l'or et de sa collecte à l'aide de mercure, et/ou de l'utilisation de cyanure pour la récupération de l'or très fin à partir des déchets des opérations antérieures.

Selon l'échelle, les dommages environnementaux qui en découlent varient de faibles à considérables, notamment en ce qui concerne l'effet des boues de traitement sur la végétation (Figure 67, Figure 68, Figure 69).

Les Figure 63 et Figure 64 montrent la grande carrière de l'opérateur chinois Ling Xinrong à l'ouest de Colomines, mesurant plus de 30 m de profondeur. La Figure 65 montre la carrière de Bote à Kambele qui a pratiquement consommé le site d'exploitation artisanal occupant initialement la région source du cours d'eau Amoscelain.



Figure 63 Carrière de Ling Xinrong dans des granitoïdes altérées 1,5 km WSW de Colomines; vue vers le sud (MS-CM26)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 136
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 64 Vu vers l'ouest de la même carrière, exposant des excavations artisanales dans des roches altérées et faibles (MS -CM26)



Figure 65 Carrière de Bote dans la partie est de la zone de Kambele (MS-CM12)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 137
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



La Figure 66 montre une station de broyage des roches mineralisées apportées par camion de la carrière de Bote. La station est opérée par une société chinoise et située dans la vallée du Mbil (point OP-CM08). Les boues sont versées, en passant par un petit bassin de décantation, dans la vallée. En dehors du présent site, d'autres boues de traitement s'y ajoutent de différentes sources. Elles couvrent la vallée tout au long du cours d'eau.



*Figure 66 Station de broyage et de lavage; à gauche : broyage des roches primaires à l'aide de roues métalliques tournant dans des bassins ; à droite : petit bassin de décantation, insuffisant pour empêcher la pénétration des boues dans la vallée du Mbil (OP-CM08).*

L'exemple de la rivière Amoscelain à la Figure 67 indique comme l'inondation par des boues barrées provoque la mort de la végétation dans des grandes parties des vallées et marécages. Plus tard, les boues sèchent et deviennent solides, toujours empêchant des nouvelles plantes de s'installer (Figure 68).

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 138
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



Figure 67 *Végétation inondée par les boues dans la rivière Amoscelain (OP-CM12)*



Figure 68 *Les boues restent dans l'environnement et remplissent des dépressions ou des vallées.*

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 139
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 69 à gauche : Terril de boues de traitement des roches dans la rivière du Djongo ; à droite : forêt morte après dépôt des boues dans la vallée du Mbil, Kambele

Au cours des cinq dernières années, nous observons une croissance très rapide des activités minières en dehors des vallées, utilisant des technologies semi-industrielles et industrielles (voir annexe 7, 8, 9).

La Figure 70 montre une carrière d'exploitation de l'or dans les roches métamorphiques (migmatites, schistes) à l'est de Woumbou, proche de Ngaranga (MS-CM37).



Figure 70 limage satellite d'un site à l'ouest de Ngaranga en 2009 et en 2020. On observe l'exploitation dans le lit de la rivière Batong, et sur les plateaux. Les vallées sont complètement exploitées et les forêts de galeries avec de l'eau courante remplacées par une série de bassins d'eau. L'exploitation minière sur les plateaux détruit de grandes zones, et rejette les résidus dans les vallées (MS-CM37).

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 140
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021
Fichier: 2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 71 la visite sur le terrain montre une carrière d'exploitation de l'or actuellement inactive. Elle est exploitée par une société chinoise, et est localisée dans un corps de roches métamorphiques (MS-CM37).

### 5.1.2.3 Traitement des roches avec des cyanures

A ce jour, la cyanuration est pratiquée presque exclusivement par des ouvriers burkinabés. Des bassins témoinant de ces travaux ont été vus dans plusieurs points d'observation. Un exemple est le site OP-CM69 directement au SE de la ville de Bétaré Oya.

Même si le cyanure est chimiquement instable dans l'eau, dans les sédiments et dans le sol, les travailleurs du site, la population environnante et l'environnement sont exposés à un danger pour la santé. Certains ouvriers portent des bottes mais aucun masque de protection n'est utilisé (Figure 72).



Figure 72 Traitement des roches par les cyanures proche de Bétaré Oya

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 141
	Autorisé					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc		28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	



## 5.2 Conséquences environnementales et sociales

### 5.2.1 Eaux de surface

Les principaux problèmes liés aux eaux de surface causés par l'exploitation minière sont :

- L'envasement et la contamination par le Hg,
- l'interruption de l'écoulement des eaux.

Alors que l'envasement de l'eau douce peut être surveillé à l'aide de données de télédétection, la contamination par le Hg n'est pas visible et nécessite un échantillonnage physique des sédiments de rivière, ce qui ne faisait pas partie de ce projet.

L'évolution générale de la turbidité de l'eau de 2002 à 2019 est présentée dans les annexes 4 à 6.

Tout d'abord, une croissance rapide de la turbidité de l'eau a eu lieu entre 2002 et 2019. Les grandes rivières sont fortement influencées par les boues argilleuses / silteuses provenant de l'extraction de l'or (Figure 73). Alors qu'en 2002, la part des grandes rivières présentant une turbidité extrême était nulle, en 2019, 4,5 % des rivières présentaient déjà une turbidité extrême, et la part de turbidité forte est passée de 2,94 % en 2002 à 70,75 % en 2019.

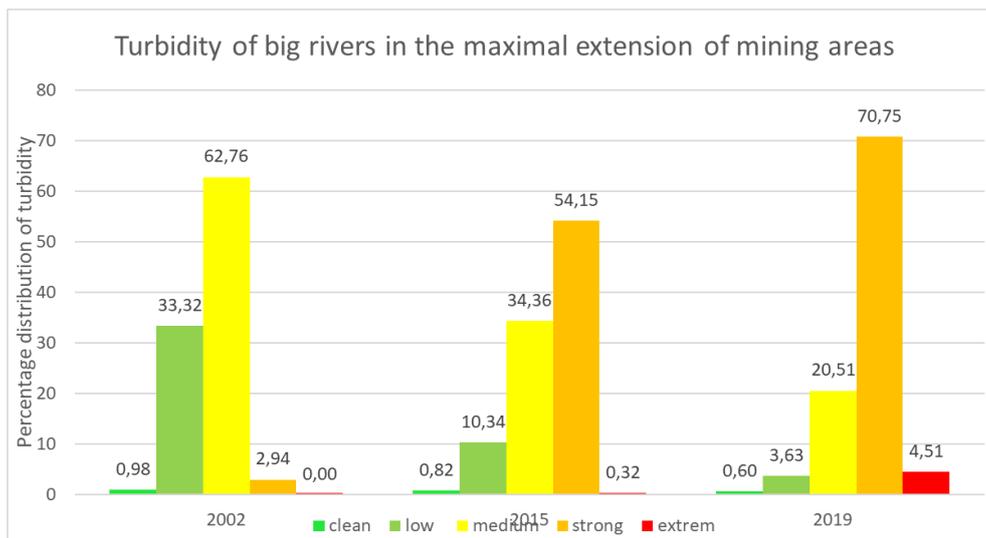


Figure 73 Turbidité des grandes rivières (bassins versants > 1000 km<sup>2</sup>)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 142
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Pendant l'exploitation des rivières, les zones d'eau de surface exposées au ciel sans couverture végétale ont considérablement augmentées. L'eau de ces étangs présente une turbidité différente selon l'état de l'exploitation minière.

A titre d'exemple, nous abordons la situation autour de la ville de Betare-Oya (Figure 74, Figure 75, Figure 76). A l'origine, en 2002, les rivières transportent des matières en suspension selon les conditions naturelles qui prévalent dans leurs bassins versants. Les limons sont entraînés par les eaux de pluie dans les rivières. En raison d'une couverture végétale dense, la charge en limon est modérée et la turbidité est modérée à faible. Les rivières s'écoulent dans leur lit d'origine (voir Figure 74).

En 2015 (Figure 75), la situation a considérablement changé. Les berges des grandes rivières et de nombreuses petites vallées se sont transformées en un paysage minier sans végétation avec de nombreux étangs remplis d'eau trouble.

La turbidité diminue après un certain temps. Cet effet est bien visible au niveau du barrage de Lom-Pangar (voir Figure 76). L'eau de la rivière transportant beaucoup de matières en suspension s'éclaircit dans le lac artificiel car le limon se dépose en raison de la baisse de la vitesse d'écoulement.

En 2019, la situation est marquée par un paysage d'après-mine : la végétation repousse lentement et l'eau des étangs se clarifie. En raison de la poursuite des activités minières en amont et des grandes surfaces de terrain dénudé, la turbidité reste à un niveau élevé.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 143
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

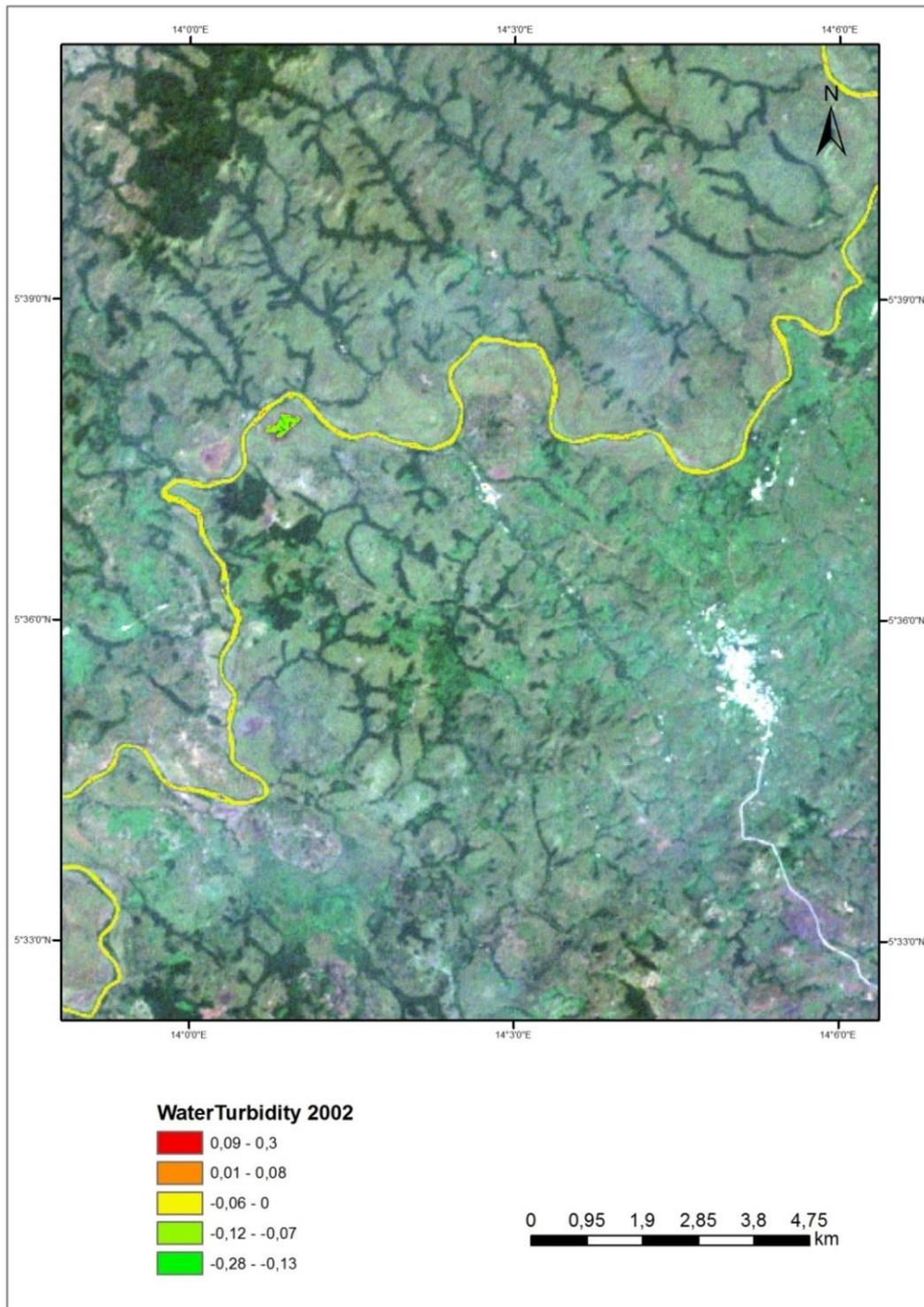


Figure 74 Turbidité en 2002 : le barrage du Lom-Pangar n'existe pas encore, l'eau de la rivière est envasée selon les conditions naturelles. De petites zones d'exploitation alluvionnaires sont visibles dans les affluents du Lom.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 144
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	

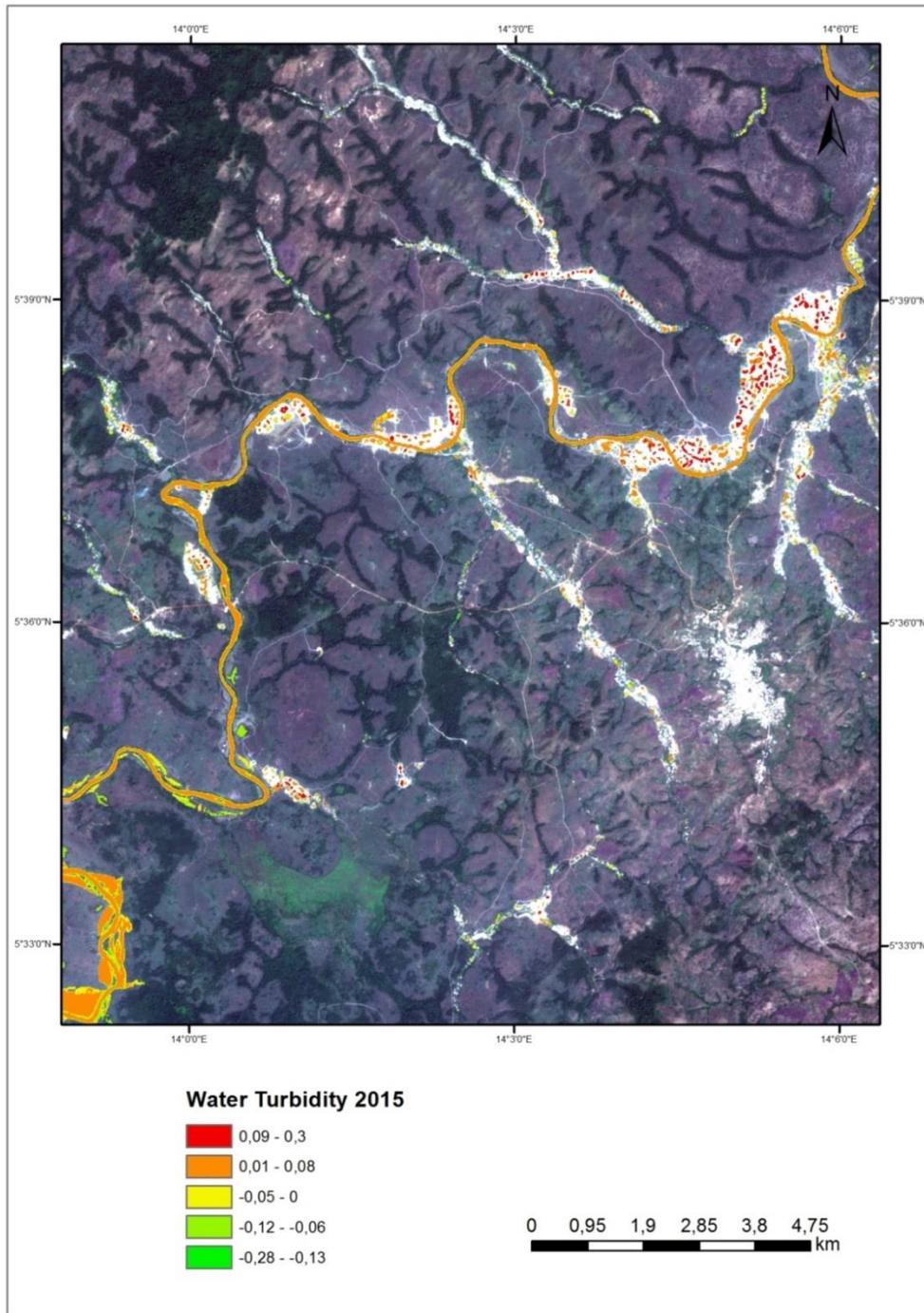


Figure 75 Turbidité en 2015: le barrage du Lom-Pangar commence à se remplir à partir du SW. L'eau de la rivière est fortement ensasée ; de grandes zones minières peuvent être observées le long des bords de la rivière du Lom. De nombreux bassins d'eau fortement ensasés sont visibles dans les affluents.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 145
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

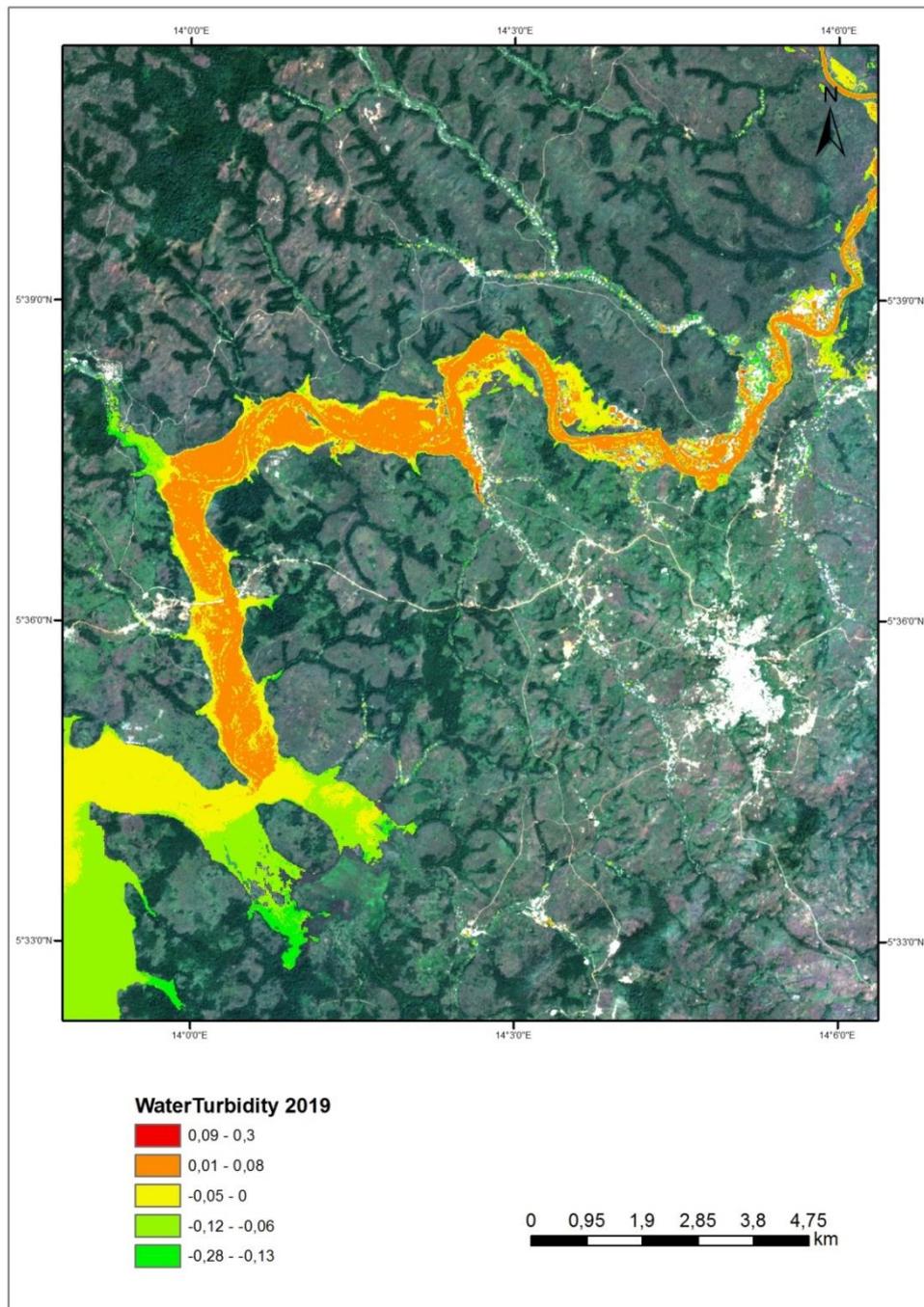


Figure 76 Turbidité en 2019 : le barrage du Lom-Pangar est rempli, l'eau de la rivière est fortement ensasée et les boues se déposent dans le barrage. Les grandes zones d'exploitation en bordure du Lom et dans la plupart de ses affluents ont été abandonnées et l'eau des étangs restant des mines devient plus claire.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 146
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



La Figure 77 montre un paysage typique de l'après-mine dans le flat du cours d'eau Mbil à l'est de Kambele. La vallée a été exploitée de manière alluvionnaire en 2014 par la société Metalicon. En raison des bassins d'eau nouvellement créés après l'exploitation, la surface d'eau libre a considérablement augmenté et la continuité de la rivière est réduite ou interrompue. Dans de nombreux cas, les eaux de surface courantes disparaissent totalement, avec toutes les conséquences que cela implique pour la biosphère.



Figure 77 Étangs subsistant de l'exploitation alluvionnaire dans la vallée du cours d'eau Mbil à Kambele ; image satellite de 2016.

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 147
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					

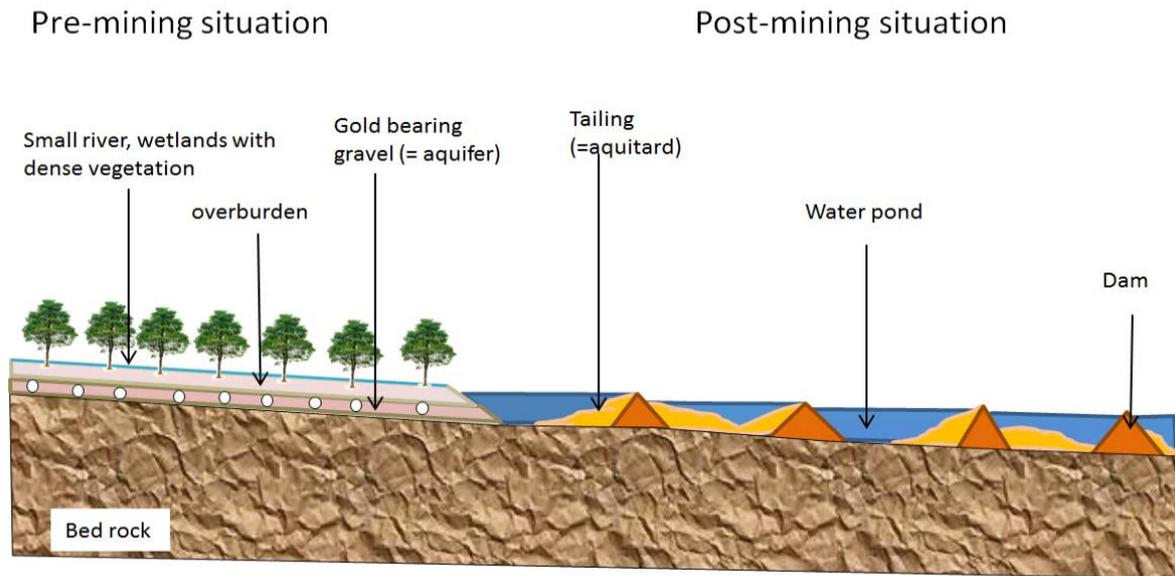


Figure 78 Situation avant et après l'exploitation d'une petite rivière (schéma)

Le cycle de vie de l'exploitation alluvionnaire d'une rivière est illustré par l'exemple du Mbil à la Figure 79. La situation originale (#1) montre une zone humide vierge avec une végétation basse et de grands arbres. La surface de l'eau n'est pas visible, car elle est couverte par la végétation. Au cours de l'exploitation minière (#2, #3), la végétation est enlevée, les sédiments sont complètement excavés jusqu'à la roche-mère, et la vallée est divisée en une série d'étangs et de barrages, principalement pour accueillir les fractions fines provenant de l'extraction de l'or. Dans le paysage post-minier, la végétation repousse sur les barrages et les berges des étangs (#4), mais en raison de la taille des étangs, ils resteront des surfaces d'eau libre.

Il faut remarquer que l'image #4 date de 2016. Les travaux de terrain ont montrés que la vallée du Mbil est actuellement sujette au dépôt d'énormes quantités de boue provenant de l'exploitation de la roche altérée des carrières de Boukarou quelques km plus à l'ouest. Nous n'avons donc pas pu observer le rétablissement d'un paysage d'après-mine.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 148
	Autorisé	x					
Fichier: 2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc							

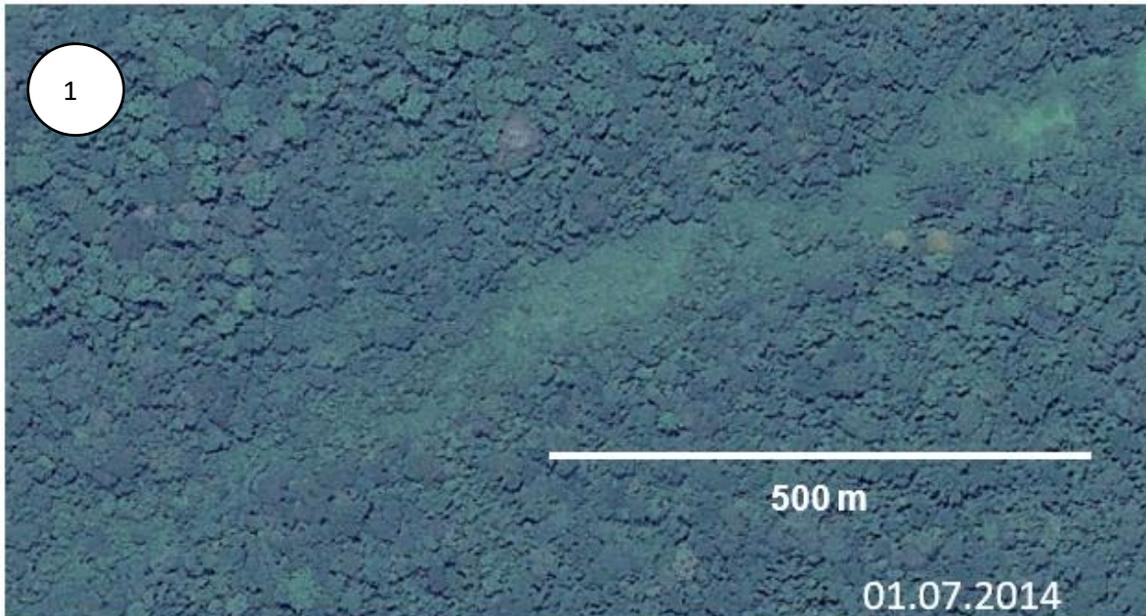


Figure 77; (Description voir page suivante)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 149
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



*Figure 79 Développement de l'exploitation minière dans la vallée du Mbil à Kambele. Au cours de quatre ans, le paysage originellement vierge de forêts et de zones humides où l'eau coulait est complètement détruit et remplacé par une série de bassins qui représente une grande surface d'eau libre.*

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 150
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

## 5.2.2 Eaux souterraines

On peut s'attendre à une forte influence des activités minières sur les eaux souterraines car les sédiments sont complètement bouleversés par ces activités, qui laissent derrière elles une chaîne d'étangs et de barrages (Figure 80).

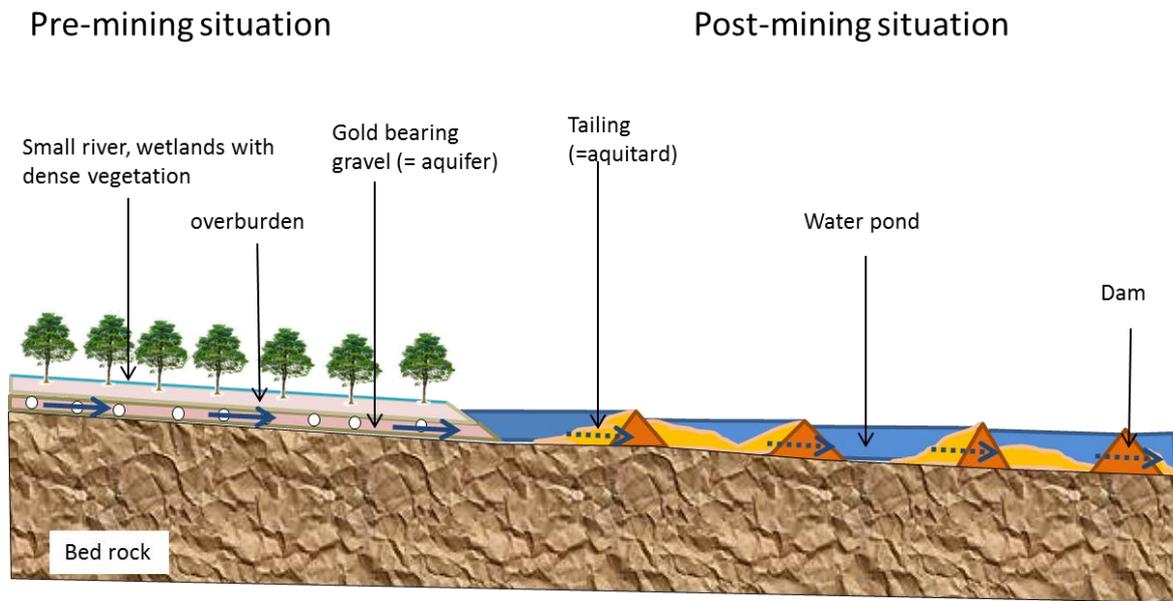


Figure 80 Flux des eaux souterraines avant et après l'exploitation minière

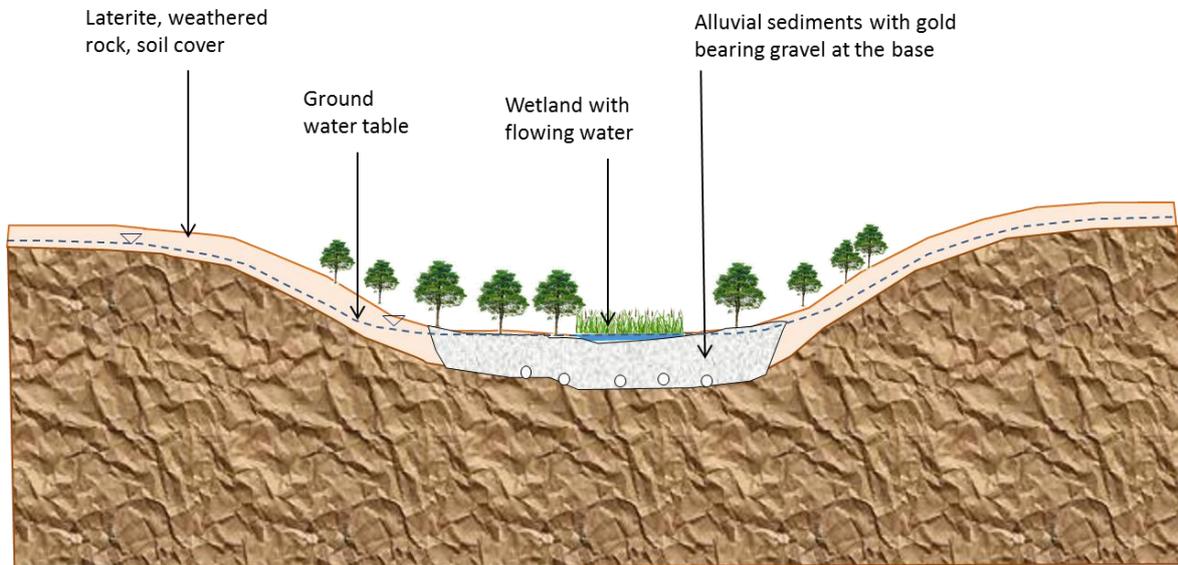
Étant donné que l'excavation ne s'arrête pas à la surface de la bed rock, mais qu'une certaine quantité de bed rock altérée est également exploitée, sa surface après exploitation est plus basse que celle avant exploitation. Les roches excavées sont déversées en partie à l'extérieur des bassins, ce qui entraîne une perte de volume dans le bassin restant.

Par conséquent, le niveau de la nappe phréatique dans les bassins après exploitation est plus bas que celui de la rivière et des zones humides d'origine (Figure 81).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 151
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Pre-mining situation: the ground water table is almost below the surface



Post-mining situation: the ground water table is much below the surface

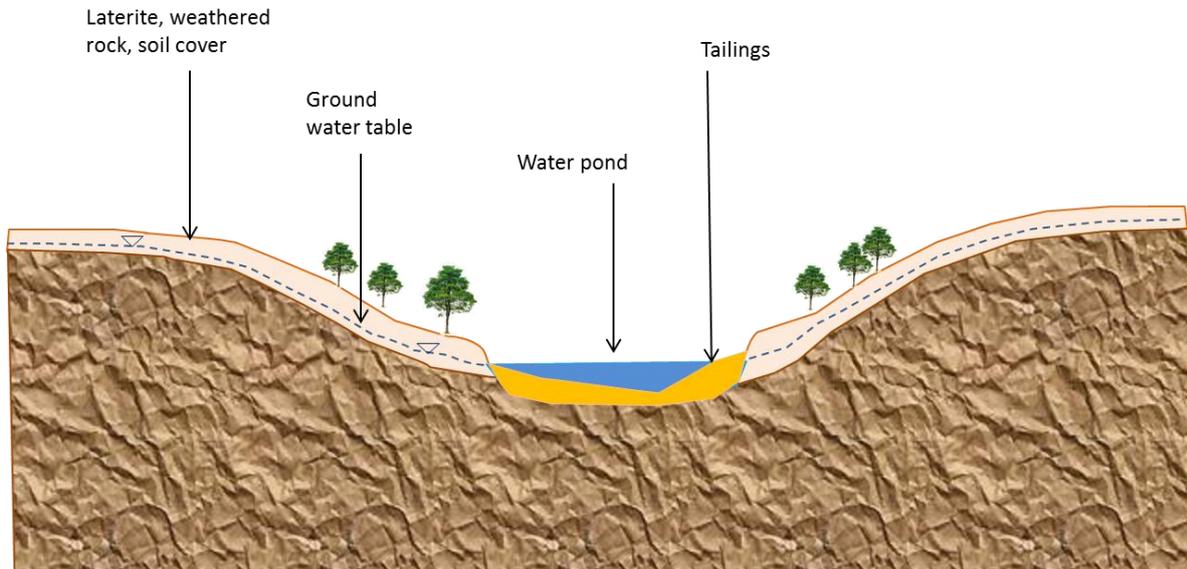


Figure 81 Comparaison de la situation avant et après l'exploitation minière et de son influence sur la nappe phréatique.

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 152
	Autorisé					
Fichier: 2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Comme l'eau de surface et l'eau souterraine sont liées, l'abaissement de la surface de l'étang provoque un déversement d'eau souterraine dans l'étang et abaisse la surface de l'eau souterraine dans de plus grandes zones autour de l'étang. Les conséquences sont l'assèchement des puits d'eau et un changement de la végétation restante vers des espèces nécessitant moins d'eau et ayant la capacité de récupérer des eaux souterraines plus profondes.

En cas d'activités minières en dehors des vallées fluviales, les conséquences sont similaires : le niveau des eaux souterraines baisse.

### 5.2.3 Les sols

En raison de l'absence totale de mesures de réhabilitation et de la nature non planifiée et non organisée des activités minières, la surface du sol après exploitation est constituée de différents types de roches et est généralement très irrégulière (Figure 82).



Figure 82 Plantation de manioc dans un paysage post-minier au NE de Bétaré Oya (OP-CM57)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 153
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



La technologie minière et métallurgique est basée sur la séparation et le dépôt séparé des sédiments fins et du matériel à gros grains. En conséquence, le "sol" post-exploitation peut être constitué exclusivement de gravier lavé sans sédiments fins (

Figure 83) ou des sédiments fins eux-mêmes (Figure 84) sans matériaux à gros grains.

La conséquence est une fertilité très réduite par rapport à la situation avant exploitation. Les principaux problèmes sont causés par :

- la composante limon manquante qui est principalement responsable de la capacité de stockage de l'eau et des nutriments minéraux (
- Figure 83),
- la composante argileuse / boueuse dominante et la structure en couches des résidus, empêchant la pénétration de l'eau et l'aération du sol (Figure 84),
- l'absence totale de composants organiques, responsables de la structure légère du sol, du stockage des nutriments et de l'eau (Figure 85).



Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 154
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Figure 83 Le gravier lavé sans fractions fines forme le "sol" post-exploitation. Exemple au NE de Bétaré Oya (OP-CM57)



Figure 84 Des Boues déversées dans une plaine alluviale. Elles recouvrent la végétation d'origine et forment une couverture imperméable à l'eau.



Figure 85 Matériau du sol original riche en composants organiques par rapport aux déchets d'après mine; Longamali / Bétaré Oya (MS-CM39)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 155
	Autorisé	x					
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



*Figure 86 Réinstallation des premières herbes sur les boues ; rivière Amoscelain, Kambele, vue vers le SW (OP-CM10)*

Selon la localisation, les sols peuvent aussi être contaminés par le mercure d’amalgamation, ou par les hydrocarbures au niveau des lieux de travail des engins, des ateliers d’entretien, les camps, etc.

#### **5.2.4 La Couverture forestière**

L’influence des activités minières sur les forêts est évidente (Figure 87). Elles détruisent complètement les forêts.

Les activités minières laissent derrière elles des terres dénudées, sujettes à l’érosion du sol lors de fortes pluies. Le sol fertile, qui contient beaucoup de limon et une grande capacité de stockage de l’eau, est perdu et la surface des terres après l’exploitation minière est constituée de différents types de roches ayant une faible capacité de stockage de l’eau et peu de nutriments.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 156
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



*Figure 87 Carrière à Boukarou / Kambele, détruisant complètement la forêt et les plantations de cacaoyer, bananiers etc. dans la forêt (MS-CM06)*

Comme indiqué à la section 5.1.2 à l'exemple de Kambele, un autre type de destruction est causée par les boues provenant du broyage des roches. La végétation étouffe car les boues forment une barrière imperméable même après des événements d'inondation.

La végétation qui repousse naturellement se fait en faveur des espèces nécessitant moins d'eau et moins de fertilité par rapport à la végétation d'origine.

### 5.2.5 L'air

La qualité de l'air est dégradée pendant les opérations minières par les gaz d'échappement des engins, des véhicules, des générateurs, etc. Pendant et au delà des opérations minières, notamment en saison sèche, des quantités énormes de poussière sont libérés par les surfaces dénudées des carrières, des routes minères et d'autres surfaces déforestées. Cela peut mener, entre autres, aux infections respiratoires de la population exposée aux poussières. Aussi, la végétation restante peut subir un impact négatif.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 157
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 5.2.6 Agriculture

### 5.2.6.1 Terres cultivées

Le sol, qui est la principale condition préalable à une agriculture réussie, est complètement détruit par les activités minières (voir section 5.2.3). Par conséquent, l'agriculture sur les "sols" de l'après-mine est beaucoup moins productive que dans la situation antérieure à l'exploitation.



Figure 88 *Plantation de bananiers et de légumes dans le paysage de l'après-mine près de Bétaré Oya (OP-CM57)*

La morphologie du paysage de l'après-mine, constituée de terrils et de dépressions irrégulières, est un autre facteur défavorable à l'agriculture.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 158
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 5.2.6.2 Problèmes de pâturages

Comme l'exploitation alluvionnaire crée des structures lenticulaires entre les zones de savane utilisées pour l'agriculture pastorale, les zones de savane sur les hauts plateaux restent isolées et les troupeaux rencontrent de sérieux problèmes pour migrer entre leurs pâturages.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 159
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

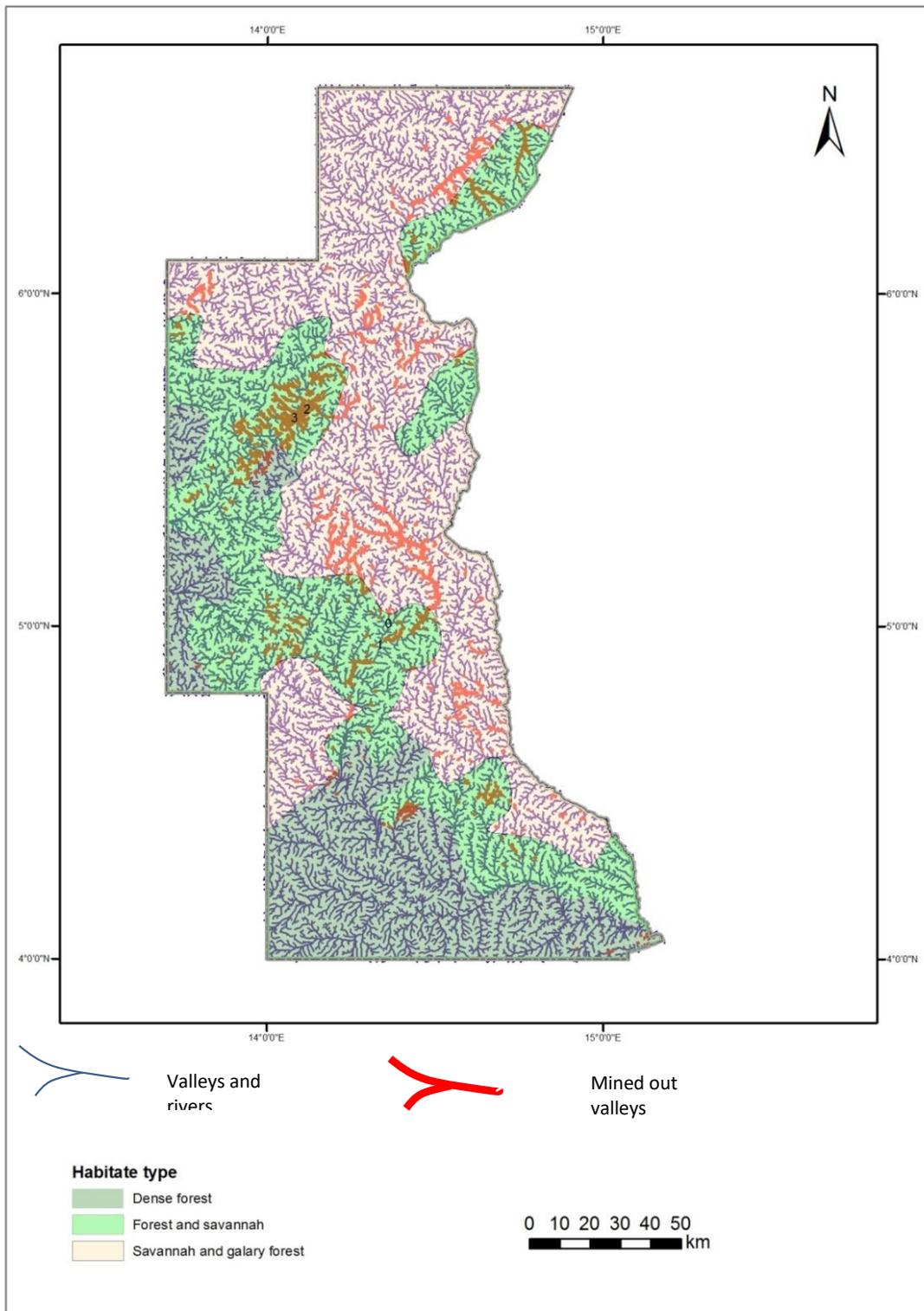


Figure 89 Localisation des vallées détruites (en rouge) entravant la migration des troupeaux

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 160
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



### 5.3 Considérations économiques

La pratique actuelle de l'extraction de l'or crée d'énormes dommages environnementaux et économiques à long terme. La quantité de terres consommées est déraisonnable par rapport aux revenus engendrés.

Le Tableau 18 montre les estimations économiques pour différents scénarios

*Tableau 18 Estimation de la valeur de l'or pouvant être extrait de l'exploitation des placers par rapport à la consommation de terres*

Scenario 1: realistic parameters: 0,5 m of gravel with grades between 0.1 and 1 g per cbm											
Placer parameters											
width	50										
thickness	0,5										
length	1000										
area	50000										
volume	25000										
average Au grade in placer	m3	grade (g/m3)	volume (m3)	contained gold (g)	recovery (incl. Mining losses)(%)	extractable Au in g	extractable Au in kg	value of 1 kg Au in EUR	value of contained Au in EUR	placer area (m2)	value of 1 m2 in EUR
1	m3	1	25000	25000	30	7500	7,5	50000	375000	50000	7,5
0,5	m3	0,5	25000	12500	30	3750	3,75	50000	187500	50000	3,75
0,2	m3	0,2	25000	5000	30	1500	1,5	50000	75000	50000	1,5
0,1	m3	0,1	25000	2500	30	750	0,75	50000	37500	50000	0,75
Scenario 2: unrealistic positive parameters: 1 m of gravel with grades between 0.1 and 1 g per cbm											
Placer parameters											
width	50										
thickness	1										
length	1000										
area	50000										
volume	50000										
average Au grade in placer	m3	grade (g/m3)	volume (m3)	contained gold (g)	recovery (incl. Mining losses)(%)	extractable Au in g	extractable Au in kg	value of 1 kg Au in EUR	value of contained Au in EUR	placer area (m2)	value of 1 m2 in EUR
1	m3	1	50000	50000	30	15000	15	50000	750000	50000	15
0,5	m3	0,5	50000	25000	30	7500	7,5	50000	375000	50000	7,5
0,2	m3	0,2	50000	10000	30	3000	3	50000	150000	50000	3
0,1	m3	0,1	50000	5000	30	1500	1,5	50000	75000	50000	1,5
Scenario 3: poor placer mining: 0,2 m of gravel with grades between 0.1 and 1 g per cbm											
Placer parameters											
width	50										
thickness	0,2										
length	1000										
area	50000										
volume	10000										
average Au grade in placer	m3	grade (g/m3)	volume (m3)	contained gold (g)	recovery (incl. Mining losses)(%)	extractable Au in g	extractable Au in kg	value of 1 kg Au in EUR	value of contained Au in EUR	placer area (m2)	value of 1 m2 in EUR
1	m3	1	10000	10000	30	3000	3	50000	150000	50000	3
0,5	m3	0,5	10000	5000	30	1500	1,5	50000	75000	50000	1,5
0,2	m3	0,2	10000	2000	30	600	0,6	50000	30000	50000	0,6
0,1	m3	0,1	10000	1000	30	300	0,3	50000	15000	50000	0,3



Dans ces calculs, nous supposons des teneurs moyennes entre 0,1 et 1 g/cbm, et des épaisseurs de graviers aurifères entre 0,2 m (placer sub-économique), 0,5 m (placer économique), et 1 m (bon placer).

Dans les calculs, nous supposons une récupération de 30 % en tenant compte des pertes minières et métallurgiques. La zone d'exemple est supposée avoir une largeur de 50 m et une longueur de 1 000 m.

La valeur de l'or fin contenu varie considérablement entre 750000 EUR et 15000 EUR selon les hypothèses. La valeur réaliste est estimée à 150000 EUR.

Par conséquent, l'exploitation de 1 m<sup>2</sup> de terrain permet de produire de l'or d'une valeur de 3 EUR.

Comparée aux prix des terres agricoles (voir Tableau 19), cette valeur de 3 EUR/m<sup>2</sup> se situe dans la fourchette des coûts des terres agricoles dans les pays développés, mais représente environ 20 fois la valeur des terres au Ghana ou au Cameroun.

*Tableau 19 Coût des terres agricoles*

Costs for farm land				
Place	EUR/ m2	Year	remark	source
Westfahlen (Germany)	5,4	2021	average price	<a href="https://www.lwl.org/LWL/Kultur/Westfalen_Regional/Wirtschaft/Bodenpreise_Landwirtschaft">https://www.lwl.org/LWL/Kultur/Westfalen_Regional/Wirtschaft/Bodenpreise_Landwirtschaft</a>
India	1,04	2021	cheap land	<a href="https://www.indiamart.com/proddetail/cheap-agriculture-land-18367021748.html">https://www.indiamart.com/proddetail/cheap-agriculture-land-18367021748.html</a>
US Wisconsin	1	2021	average price	<a href="https://www.agriculture.com/news/business/12-best-farml-bargains_5-ar42186">https://www.agriculture.com/news/business/12-best-farml-bargains_5-ar42186</a>
US Florida	2	2021	average price	<a href="https://www.agriculture.com/news/business/12-best-farml-bargains_5-ar42187">https://www.agriculture.com/news/business/12-best-farml-bargains_5-ar42187</a>
Ghana	0,07 - 0,15	2021	countryside	<a href="https://jiji.com.gh/44-farmland-for-sale">https://jiji.com.gh/44-farmland-for-sale</a>
Tanzania, Farmland, Bagamojo	1,3	2021	different areas	<a href="https://www.zoomtanzania.com/listings/farmland-for-sale-at-mkenge-bagamoyo-2888440">https://www.zoomtanzania.com/listings/farmland-for-sale-at-mkenge-bagamoyo-2888440</a>
South Africa, Paddock/Oribi Flats	3	2021	countryside	<a href="https://www.pamgolding.co.za/property-details/2578128-m2-mixed-use-farm-for-sale-paddock/oribi-flats/1px1510588">https://www.pamgolding.co.za/property-details/2578128-m2-mixed-use-farm-for-sale-paddock/oribi-flats/1px1510588</a>
Cameroon, Dibamba	0,17	2021	countryside	<a href="https://www.expats.com/en/housing/africa/cameroon/douala/44-land-for-sale/638376-farm-land-20-hectares-on-sale-a-dibamba.html">https://www.expats.com/en/housing/africa/cameroon/douala/44-land-for-sale/638376-farm-land-20-hectares-on-sale-a-dibamba.html</a>



Par rapport à la valeur de la production agricole, la valeur de 3 EUR /m<sup>2</sup> équivaut à la valeur de 20 ans de production de cacao, si l'on suppose un environnement similaire à celui du Ghana (Tableau 20).

Tableau 20 Valeur du terrain s'il est utilisé pendant 20 ans pour la production de cacao

Place	EUR/ m2	Year	remark	source
Cocoa Production in Ghana in 20 years, if land is used as Cocoa farm	3,2	2021	estimated: 1 kg Cocoa beans = 1,7 EUR, 1 ha produces about 1000 kg of dried Cocoa beans/annum	<a href="https://www.researchgate.net/publication/261991601_Improving_the_Productivity_and_Income_of_Ghanaian_Cocoa_Farmers_While_Maintaining_Environmental_Services_What_Role_for_Certification/figures?lo=1">https://www.researchgate.net/publication/261991601_Improving_the_Productivity_and_Income_of_Ghanaian_Cocoa_Farmers_While_Maintaining_Environmental_Services_What_Role_for_Certification/figures?lo=1</a> ; <a href="https://www.businessincameroon.com/agriculture/1701-9864-cameroon-minimum-cocoa-farm-gate-price-drops-to-xaf1-080-per-kilogram">https://www.businessincameroon.com/agriculture/1701-9864-cameroon-minimum-cocoa-farm-gate-price-drops-to-xaf1-080-per-kilogram</a>

Les activités minières actuelles ne sont pas durables car :

- Les revenus générés par l'exploitation minière sont entièrement consommés et ne sont pas utilisés du tout ou du moins en partie pour la diversification économique.
- Les activités minières détruisent les moyens de subsistance de la population locale, comme la production agricole et les activités d'élevage.
- La nature presque intacte est détruite et n'est plus attrayante pour le tourisme, qui pourrait être une importante source de revenus dans le futur.

## 5.4 Problématique de l'empreinte carbone

Le CO<sub>2</sub> est supposé être le principal agent déclencheur du changement climatique tel qu'il est actuellement observé et attendu dans les prochaines décennies. Il existe d'autres gaz à l'état de traces qui influencent le bilan thermique de l'atmosphère, comme le méthane émis par exemple par l'agriculture. Dans la présente analyse, nous nous référons uniquement à l'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'impact de l'exploitation minière sur la végétation.

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'exploitation minière se composent essentiellement des éléments suivants :

- La décomposition de la biomasse et l'émission du carbone stocké dans la forêt couvrant les zones minières : Impact immédiat

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 163
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- L'incapacité du paysage post-exploitation à stocker le CO<sub>2</sub> qui aurait été éliminé par la forêt existante (effet à long terme).
- Consommation de carburant de l'équipement minier pendant l'exploitation et le traitement et les activités connexes.

Le dernier point, la consommation de carburant pour le mouvement des engins, du recouvrement et du minerai, n'est pas pris en compte dans cette étude.

#### 5.4.1 CO<sub>2</sub> émis pendant et après les opérations minières en raison de la décomposition de la biomasse

Les forêts, en particulier dans les zones tropicales humides, agissent comme des puits de CO<sub>2</sub> terrestres efficaces et atténuent partiellement le changement climatique mondial. Le Cameroun est doté de forêts tropicales et subtropicales primaires et secondaires principalement dans sa partie méridionale sur 203 000 km<sup>2</sup> soit environ 43 % de sa superficie nationale [36]. Le couvert forestier de la zone d'étude en 2019 s'élève à 10 949 km<sup>2</sup> représentant près de 40% de sa surface. Depuis 2002, il a augmenté d'environ 1600 km<sup>2</sup>, ce qui fait plus que compenser la perte d'environ 70 km<sup>2</sup> liée à l'exploitation minière (voir section 4.2).

Cependant, ces chiffres sont influencés par les effets phénologiques et dépendent de la définition de la forêt qui peut différer selon l'algorithme utilisé. Par exemple, la plateforme "Global forest watch" définit 95 % de la région de l'Est du Cameroun comme forêt et indique une perte de couverture arborée de 3 230 km<sup>2</sup> (3 % de la région) de 2001 à 2020, sans confirmer un gain comparable de couverture arborée [10].

En raison de la complexité de l'évolution de la biomasse et du carbone stocké, nous nous référons ici uniquement à la perte de forêt liée à l'exploitation minière et non à un bilan carbone de l'ensemble de la zone d'étude ou du pays.

Dans la bibliographie, la capacité de stockage du carbone des forêts tropicales est indiquée avec des moyennes d'environ 500 t de CO<sub>2</sub> stocké sur un hectare (ha) dans une forêt primaire, avec des plages d'incertitude importantes [4], [10], [29], [31], [35]. Ce chiffre se

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 164
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



réfère à la masse de CO<sub>2</sub> stockée dans la biomasse d'un hectare de forêt tropicale primaire et est supposée être émis lorsque cette forêt est détruite.

#### 5.4.2 Quantité de CO<sub>2</sub> restant dans l'atmosphère et non captée en raison de l'absence de forêt

En moyenne, les sources mentionnées ci-dessus indiquent une capture de CO<sub>2</sub> par une forêt tropicale d'environ 10 t / ha / a. Une jeune forêt - poussant par exemple sur la surface réhabilitée d'un ancien site minier - est capable de consommer un taux de CO<sub>2</sub> plus élevé qu'une forêt mature qui a déjà construit une biomasse constante avec un équilibre entre la capture de CO<sub>2</sub> et la décomposition de la matière organique avec émission de CO<sub>2</sub>. Néanmoins, par souci de simplification, nous pouvons supposer un taux de captage constant de 10 t CO<sub>2</sub> / ha / a, étant donné qu'une partie du carbone est stockée dans le sol et est retirée du cycle du carbone pendant de longues périodes.

#### 5.4.3 L'influence du prix du CO<sub>2</sub> sur l'économie de l'exploitation

L'augmentation déjà observée de la température et la fréquence croissante de certains types de catastrophes naturelles incitent les gouvernements à mettre en place des outils de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde. Un exemple de ces outils est le système d'échange de droits d'émission. Le "polluant" est soumis à une taxe pour l'émission de chaque tonne de CO<sub>2</sub>, en conséquence toutes les actions liées à cette émission deviennent plus coûteuses. La taxe obtenue est prévue d'être utilisée pour la construction et l'amélioration des sources d'énergie régénératives.

Ce système nécessite l'attribution d'un prix au CO<sub>2</sub>. Ce prix (indiquée par tonne de CO<sub>2</sub>) dépend encore de la région du monde. Dans la plupart des pays africains l'outil ne s'applique pas encore. Par contre, dans la zone de l'Union Européenne il est en forte augmentation, actuellement entre 40 et 60 EUR / t. Pour le présent exemple, nous utilisons un prix de 60 EUR / t.

Compte tenu de la quantité estimée de 500 t de CO<sub>2</sub> stockée dans un hectare de forêt primaire, le prix de l'émission de CO<sub>2</sub> résultant de la destruction de cet hectare est de 30 000 EUR, soit 3 EUR / m<sup>2</sup>. Considérant la récupération de l'or que nous avons estimé par mètre carré (voir section 5.3), il n'y aurait donc pas de bénéfice. En ajoutant la valeur du CO<sub>2</sub> non

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 165
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



capté par la forêt disparue, le bilan – même en ne considérant pas les coûts de l'exploitation – deviendrait alors négatif.

## 5.5 Extension potentielle des impacts miniers en l'absence de restrictions

En raison de l'extension actuelle des activités minières et de leur développement rapide, on peut supposer que de grandes parties de la zone d'étude contiennent au moins de modestes occurrences d'or qui sont exploitables avec les technologies simples couramment utilisées d'excavation et de lavage. Cela concerne aussi bien les vallées que les zones de savane et les forêts en dehors des vallées.

La Figure 90 montre les zones prospectives délimitées en suivant la méthode des bassins versants. Cette méthode suppose que les placers aurifères actuellement exploités ont leurs sources dans les bassins versants respectifs.

Près de 50 % de la zone d'étude est susceptible d'être exploitée pour l'or.

Sans intervention, la facilité de la technologie et le faible prix de la main-d'œuvre et des terres entraîneront d'énormes destructions de terres dans un avenir proche.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 166
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						

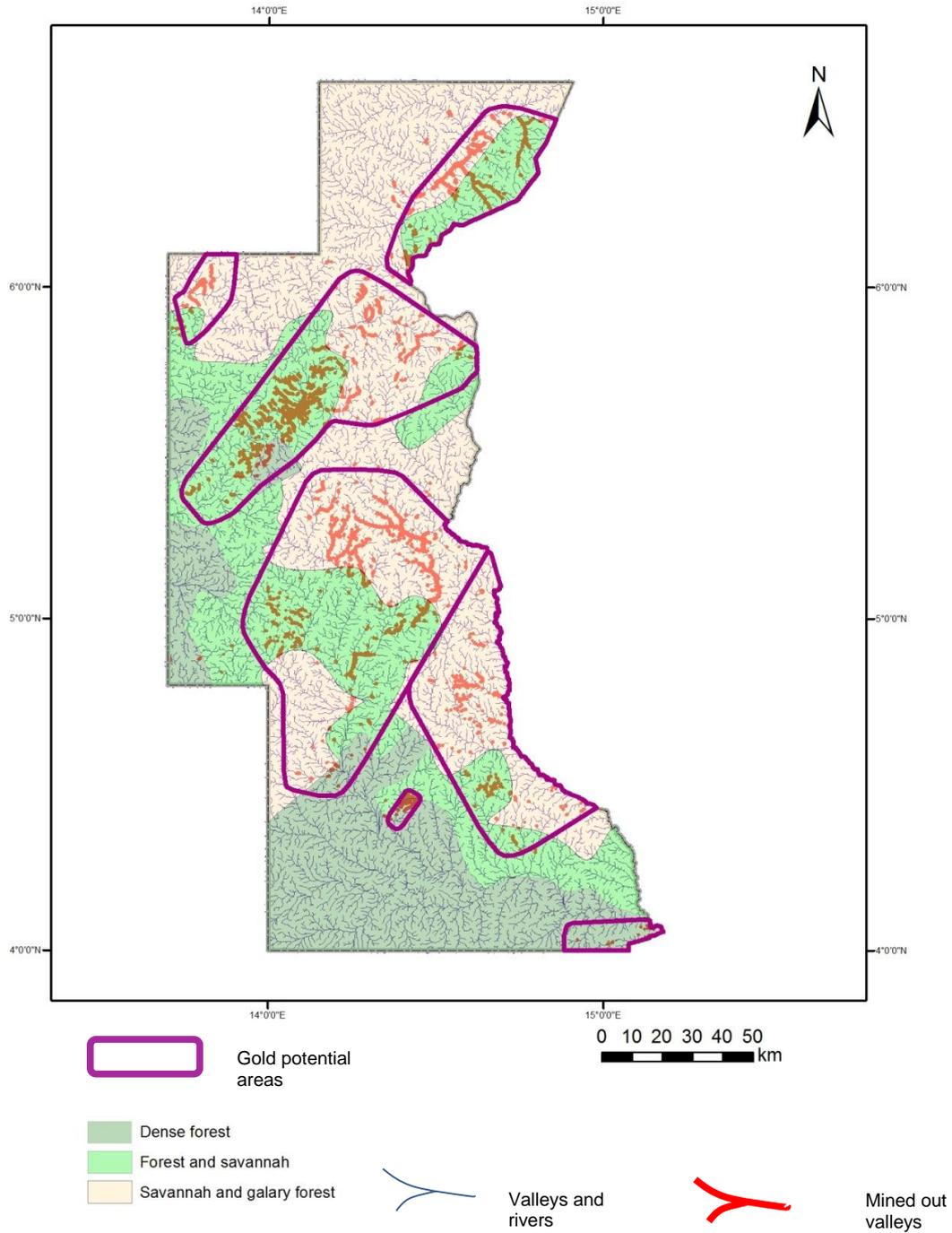


Figure 90 Zones de potentiel aurifère

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 167
	Autorisé	x					
Fichier: 2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc							



## 5.6 Patrimoine naturel

Pour la suite de l'analyse, les zones suivantes sont définies comme patrimoine naturel :

- Zones couvertes par des forêts denses
- Forêts galeries dans les zones de savane
- Zones humides et forêts de vallée dans les zones de forêt dense
- Zones présentant un relief important
- Toutes les zones quasiment épargnées par les activités humaines.

La zone étudiée abrite de vastes zones où l'influence anthropique est encore faible et qui présentent un potentiel très élevé pour la conservation de la nature.

Dans le processus international de protection du changement climatique en cours, ces zones peuvent être utilisées comme un atout important pour recevoir une compensation financière des producteurs de CO<sub>2</sub> (certificats de CO<sub>2</sub>).

## 5.7 Conflits et protection de la nature

La carte des conflits (Annexe 16) superpose le patrimoine à protéger avec les minières en cours et prévues.

## 5.8 Zones à protéger

Nous recommandons l'identification d'une série de zones protégées (voir Annexe 17) afin d'atténuer la poursuite de la destruction de zones encore vierges, tout en permettant la poursuite d'activités respectueuses de l'environnement dans une partie de ces zones.

Les zones identifiées correspondent aux zones définies comme patrimoine naturel (section 5.6) présentant un faible impact anthropogène

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 168
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Il est recommandé de définir les types de zones protégées suivants :

- Les parcs naturels dont le statut de protection est le plus élevé. L'activité anthropique y est interdite. Ces zones doivent être développées pour la conservation de la nature et le soft tourisme.
- Zones protégées avec une activité humaine limitée (agriculture responsable...)

Toutes les forêts-galeries naturelles et les zones humides, indépendamment de leur emplacement devraient aussi être protégé.



*Figure 91* Végétation typique des marécages, à côté d'un site artisanal alluvionnaire (Dem, à l'Est de Batouri)

Etat	Brouillon	Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 169
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc					



## 5.9 Mesures proposées pour les actions futures

### 5.9.1 Réduction / Atténuation des effets négatifs des activités minières actuelles et futures

Afin de réduire / atténuer les effets négatifs des activités minières, les mesures suivantes sont proposées :

- Protéger les grandes zones vierges encore existantes (voir section 5.8) et les forêts-galeries, même dans les zones minières :
  - Annoncer un moratoire sur toute nouvelle activité minière technique dans ces zones (forêts-galeries, grandes zones vierges).
  - identifier les opérations minières actives dans ces zones et les obliger à réhabiliter le paysage après l'exploitation minière selon des plans de réhabilitation spécifiques au site (à présenter par l'opérateur/le propriétaire et autorisés par l'autorité).
  
- Élaborer et mettre en œuvre des lignes directrices pour une exploitation minière et une réhabilitation post-exploitation respectueuses de l'environnement, par exemple :
  - Annoncer une interdiction stricte de tout type d'exploitation minière en rivière / vallée / zone humide.
  - Enlever le matériel de couverture du sol avant l'exploitation et le stocker dans des décharges spéciales en vue de la réhabilitation.
  - Les résidus doivent être stockés dans des bassins de décantation et ne jamais être rejetés dans les vallées fluviales.
  - Le mercure doit être interdit et remplacé par des technologies efficaces de concentration par gravité (par exemple, le concentrateur Knelson) et/ou la lixiviation par cyanure.
  - Les piles de déchets et les surfaces dénudées doivent être remodelées et revégétalisées de manière continue.
  
- Identifier les zones contaminées (Hg et métaux lourds) et restreindre leur utilisation ultérieure.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 170
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- Réhabiliter les zones minées avec des mesures raisonnables :
  - Stabiliser les mines à proximité des habitations pour éviter les accidents.
  - Identifier les possibilités de valorisation (par exemple, étangs pour la pêche, plantations).
  - Re-végétaliser les zones restantes après l'exploitation minière, dans la mesure du possible.

### 5.9.2 Surveillance des sites miniers

Nous recommandons la mise en œuvre d'une surveillance des sites miniers à plusieurs niveaux, comme suit :

- Télédétection à l'aide de données satellitaires de moyenne résolution (Sentinel-2) :
  - vérification nationale annuelle, à partir de l'actualisation des cartes de télédétection
  - vérification de la conformité avec les données cadastrales minières
  - identification des opérations non légales
  
- Dans les points chauds :
  - utilisation de drones et inspections physiques des sites
  - vérification de la conformité des sites miniers réels avec les limites de l'autorisation.

### 5.9.3 Mesures institutionnelles

Les institutions gouvernementales existantes chargées de superviser les activités minières doivent être renforcées pour permettre un contrôle efficace. Des méthodes efficaces de gestion des opérations minières doivent être mises en œuvre. Les principaux éléments du système de surveillance pourraient être les suivants :

- L'introduction et la mise en œuvre d'un processus d'autorisation clair pour les nouvelles activités minières comme suit :
  - Dans sa demande de permis d'exploitation minière ou de permis ASM, l'opérateur économique doit répondre aux exigences minimales suivantes :

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 171
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- Indiquer la localisation des cibles d'exploitation avec leurs formes, leurs teneurs et leurs ressources,
- décrire les activités minières prévues et les technologies appliquées,
- décrire les mesures de réhabilitation prévues
- Présenter le calendrier de déroulement de l'activité minière
- prouver qu'il dispose des ressources financières nécessaires au financement
- prouver qu'il dispose du personnel compétent nécessaire pour exécuter/superviser les activités.
- Après l'obtention du permis, l'exploitation minière en cours doit être supervisée par l'institution respective (inspections sur place, contrôle du respect des obligations).
- Pour la réhabilitation post-mine, les fonds respectifs doivent être déposés auprès de l'autorité minière (ou d'une banque).
- Mise en œuvre d'une politique de reporting claire, couvrant les points suivants :
  - Production minière
  - Gestion des déchets
  - Questions relatives au travail
  - Questions environnementales
- Les exploitations minières non conformes doivent être fermées

#### 5.9.4 Gestion des données / technologie de l'information

La gestion des données et les technologies modernes de l'information fourniront des moyens efficaces de surveillance des mines et de gestion des sites miniers.

Nous recommandons la planification et la mise en œuvre d'un système de gestion de l'information pour la supervision des sites miniers avec les composantes suivantes :

- Délivrance et gestion des permis d'exploitation minière.
- Système de rapports sur les opérations minières avec des exigences et des repères clairs
- Supervision des sites miniers, inspections, obligations
- Contrôle par télédétection.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 172
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 6 Conclusions et recommandations

### 6.1 Conclusions

Dans le présent travail, l'impact de l'activité minière artisanale semi-mécanisée sur la couverture forestière, l'utilisation des terres en général, et sur le système hydrographique a été étudié en utilisant des techniques de télédétection sur une zone d'étude de 27 000 km<sup>2</sup> située dans la partie orientale de la région de l'Est du Cameroun et au sud-est de l'Adamaoua. La zone abrite de nombreuses occurrences d'or primaire et alluvionnaire.

Malgré des activités minières limitées remontant aux années 1930, la zone a connu une augmentation exponentielle des opérations minières au cours des 12 dernières années : Les technologies à petite échelle des mineurs artisanaux locaux ont été largement remplacées par des technologies industrielles / semi-industrielles appliquées par des opérateurs principalement étrangers. Par endroits, les activités minières se sont déplacées des vallées vers les zones de savane et de forêt, et la zone d'oxydation des gisements d'or primaires est exploitée dans de grandes carrières.

Les mesures de protection ou de réhabilitation de l'environnement ne sont pas mises en œuvre. Les boues provenant du traitement des gisements d'or primaire sont rejetées directement dans l'environnement, recouvrant les dépressions et les vallées.

Les conséquences environnementales sont les suivantes :

- Au moins 10 % des vallées fluviales sont détruites : Elles sont déboisées et l'écoulement des eaux de surface et des eaux souterraines est interrompu. Les boues issues du traitement des roches constituent une barrière imperméable et entraînent la mort de la végétation concernée. De plus, elles sont souvent contaminées par du mercure.
- La couche arable post-minièrre est beaucoup moins fertile que le sol d'origine.
- Les habitats sont fragmentés et les voies de migration interrompues.

Les conséquences sociales et économiques sont :

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 173
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- Les zones agricoles sont détruites et les ressources en eau souterraine, y compris l'accès à l'eau potable pour la population, épuisées ou contaminées.
- Les mineurs artisanaux traditionnels ont perdu leurs revenus car les opérations mécanisées ont fait disparaître rapidement leurs sites miniers traditionnels.
- Les tentatives des mineurs artisanaux d'accéder aux puits mécanisés entraînent des accidents et des victimes.

Comme les occurrences d'or sont communes dans une grande partie de la zone d'étude, les activités minières détruiront probablement la plupart des forêts galeries, des forêts continues et des zones de savane entre les vallées si aucune mesure de protection forte n'est rapidement mise en œuvre.

Les activités minières actuelles ne sont pas durables : dans le cas de l'exploitation alluviale, nous estimons une valeur en or de seulement 3 € par m<sup>2</sup> de placer exploité. Si l'on considère uniquement les coûts qui peuvent être facturés pour l'émission de CO<sub>2</sub> résultant de la destruction du même mètre carré de forêt primaire, la valeur de l'or potentiellement récupéré est déjà ramenée à zéro, voire moins. Une conclusion similaire est tirée en considérant la perte annuelle de la valeur des produits agricoles si une surface est dégradée de manière irréversible. Les revenus faibles et à court terme de la population locale ne conduisent pas au développement de structures économiques locales durables.

Le sol, qui constitue la base d'une agriculture durable et de la régénération des habitats naturels, est également détruit.

Des mesures réglementaires fortes sont nécessaires pour transformer les activités minières actuellement non gérées en un cadre bien défini avec des réglementations claires et strictes. Cela implique :

- Un suivi régulier des activités minières et l'application du Cahier des charges,
- Des processus d'autorisation transparents avec une prise en compte économique à long terme des avantages et des impacts négatifs des activités minières,
- L'application du paiement dans un contexte de réhabilitation, garantissant l'emploi local,

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 174
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- l'application des lois existantes.

D'autre part, de grandes zones restent encore vierges. Les ressources naturelles qui y sont disponibles peuvent être utilisées pour développer un environnement durable de zones protégées avec une faune riche et des opérations minières rentables pour le bénéfice de la population locale et du Cameroun tout entier. En raison de la faible densité de population dans l'Est du Cameroun, la pression de la civilisation sur les ressources naturelles est encore faible, ce qui représente un atout considérable.

D'autres opportunités de développement rentable et durable, comme le tourisme et l'agriculture durable, peuvent être développées en s'appuyant sur le modèle des grands parcs naturels d'Afrique du Sud, de Namibie et du Botswana.

L'objectif est de développer une valorisation durable des actifs naturels dans leur ensemble :

- Limiter l'exploitation de l'or aux mines réellement rentables avec une forte implication de la population locale,
- Déclarer de grandes zones protégées pour le développement de zones de conservation avec une grande faune et une industrie touristique respectueuse.

Le processus actuel de mesures de prévention du changement climatique apportera les ressources financières nécessaires au développement de cet objectif, y compris le paiement de certificats de compensation de CO<sub>2</sub> par les principaux pays/industries émetteurs de CO<sub>2</sub>.

## 6.2 Recommandations

Les actions suivantes sont recommandées :

1. Mise en œuvre d'une interdiction immédiate de l'exploitation minière dans les zones humides et les vallées fluviales.
2. Mise en place d'un processus de surveillance de l'activité minière, ainsi qu'un système d'amendes et d'interdictions en cas de violation :
  - a. Surveillance par télédétection au niveau national pour l'identification des activités minières illégales.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 175
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



- b. Inspections sur place pour la supervision des opérations légales.
3. Mettre en œuvre un système centralisé et transparent d'octroi et de gestion des permis d'exploitation minière conformément à la loi en vigueur :
  - a. Décrire et publier les procédures, par exemple en utilisant le site web PRECASEM pour la responsabilité sociale.
  - b. Développer et mettre en œuvre des directives simples pour l'application et les rapports
  - c. Planifier et mettre en œuvre un système informatique centralisé basé sur le web pour les questions importantes relatives aux demandes de permis d'exploitation minière et à leurs gestion.
4. Mettre en place un système de planification, de supervision et de financement de la réhabilitation de l'environnement
  - a. Faire du plan de réhabilitation une condition à l'obtention d'un permis d'exploitation minière.
  - b. Superviser la réhabilitation
  - c. Obliger les exploitants miniers à déposer des frais de réhabilitation auprès de l'autorité minière ou d'une banque.
5. Lancer un processus d'identification, de description et de désignation légale des zones protégées.
6. Développer une stratégie de valorisation durable des ressources naturelles dans leur ensemble :
  - a. exploitation aurifère rentable et respectueuse de l'environnement
  - b. conservation des zones vierges
  - c. développement du soft tourisme et de l'agriculture durable
7. Développer une stratégie pour accéder aux certificats de compensation de CO<sub>2</sub> payés par les principaux pays/industries émetteurs de CO<sub>2</sub>.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 176
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 7 Données transmises au Client

Les données SIG du projet ont été transférées au Client sur un clé USB.

Le dossier des données transmises comporte deux classeurs, nommés "Raster" et "Shape". Tous deux contiennent toutes les cartes et les résultats d'analyse, mais dans le format de données respectif. Le format de données raster nécessite un espace mémoire plus petit, il se charge donc plus rapidement que les données des shapefiles. Par contre, les fichiers shapefile ont une table d'attributs avec des colonnes pour chaque objet / polygone qui peuvent alors être recherché d'après leur localisation spatiale ou leur contexte, ce qui n'est pas le cas pour les données raster.

ArcGIS Map Package est un format de transfert d'un document ArcMap (MXD) d'ESRI, dans lequel les fichiers raster et shape sont stockés. Il peut être ouvert directement en double-cliquant sur le fichier ou en le faisant glisser dans ArcMap. Le Map Package Beak\_DataAnalysis.mpk contient des cartes sous forme de fichiers Raster (Landcover2002.tif, Landcover2015.tif, Landcover2019.tif,

Migration\_Forest\_2002\_to\_2015.tif et Migration\_Forest\_2015\_to\_2019.tif) et des données d'analyse sous forme de fichiers Shapefile.

"Satellite.gdb" est une geodatabase ArcGIS, qui contient les images satellites de Landsat 7 pour 2002 et de Sentinel 2 pour 2015 et 2019, ainsi que le modèle numérique d'élévation (DEM) de la zone d'étude orientale.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 177
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Tableau 21 Données transmises

Nom du fichier	Nom de la couche dans le projet ArcGIS (Alias)	Description (english)	Description (français)
Landcover2002.tif	Couverture du sol 2002	Map of the 2002 land cover from Nov to Jan created via remote sensing and artificial intelligence (Advangeo software)	Carte de l'occupation des terres entre novembre 2002 et janvier 2003, créée par télédétection et RNA (logiciel advangeo)
Landcover2015.tif	Couverture du sol 2015	Map of the 2015 land cover from Dec to Jan created via remote sensing and artificial intelligence (Advangeo software)	Carte de l'occupation des terres entre décembre 2015 et janvier 2016 créée par télédétection et RNA (logiciel advangeo)
Landcover2019.tif	Couverture du sol 2019	Map of the 2019 land cover from Nov to Jan created via remote sensing and artificial intelligence (Advangeo software)	Carte de l'occupation des terres entre novembre 2019 et janvier 2020, créée par télédétection et RNA (logiciel advangeo)
MaxMiningArea_at_2002.shp	Couverture terrestre dans l'étendue maximale de la zone minière, en 2002	shows the original land cover of mining-affected areas before mining	Couverture terrestre préalable aux zones affectées par l'exploitation minière
MaxMiningArea_at_2015.shp	Couverture terrestre dans l'étendue maximale de la zone minière en 2015	shows mining areas that were created until 2015. In addition, areas are shown with the landcover of 2015, which will be mining areas in 2019	Couverture terrestre en 2015 comme extension maximale de la zone minière. Il est possible de distinguer des surfaces étant devenues des zones minières avant et après 2015. Pour celles d'après 2015, les différents types de couverture terrestre préalables (en 2015) sont délimités (forêts, savannes, etc.).

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 178
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Nom du fichier	Nom de la couche dans le projet ArcGIS (Alias)	Description (english)	Description (français)
MaxMiningArea_at_2019.shp	Couverture terrestre dans l'étendue maximale de la zone minière en 2019	shows mining areas that have been created until 2019. Also included are post-mining areas with the follow up land cover of 2019	Zones minières apparues jusqu'en 2019. Sont également incluses les zones de post-exploitation avec la couverture terrestre ayant s'installée en 2019 à la place des zones minières de 2015
MaximumMiningAreaExtension.shp	Extension maximale de la zone minière	sum of the mine sites of 2015 and 2019	Total des sites miniers de 2015 et 2019
Migration_Forest_2002_to_2015.tif	Couverture terrestre ayant évolué vers zone forestière (2002 - 2015)	shows what land cover existed before forest developed at this location and where forest areas have receded	Surfaces forestières converties en autres zones de couverture terrestre / couverture terrestre ayant précédé des nouvelles forêts
Migration_Forest_2015_to_2019.tif	Couverture terrestre ayant évolué vers zone forestière (2015 - 2019)		
Migration_MineSite_2002_to_2015.shp	Couverture terrestre ayant évolué vers zone minière (2002 - 2015)	shows what land cover existed before mining and where mining areas have receded	Couverture terrestre qui existait avant l'exploitation minière et anciennes zones minières recouvertes par la végétation
Migration_MineSite_2015_to_2019.shp	Couverture terrestre ayant évolué vers zone minière (2015 - 2019)		
Migration_UrbanArea_2002_2015.shp	Couverture terrestre ayant évolué vers zone urbaine (2002 - 2015)	shows what land cover existed before urbanisation and where urban areas were abandoned	Couverture terrestre avant l'urbanisation / anciennes zones urbaines abandonnées
Migration_UrbanArea_2015_2019.shp	Couverture terrestre ayant évolué vers zone urbaine (2015 - 2019)		
FollowUp_Waterpond_2019.shp	Couverture terrestre en 2019 après étangs miniers de 2015	shows the follow-up landscape in 2019 that evolved from water ponds of 2015 in mining areas	Paysage post-minièr en 2019 ayant évolué à partir des étangs miniers de 2015

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 179
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Nom du fichier	Nom de la couche dans le projet ArcGIS (Alias)	Description (english)	Description (français)
Riversystem.shp	Système fluvial	The map shows the river system calculated from SRTM (DEM) data. The rivers are subdivided by the size of their catchment area.	Réseau hydrographique calculé à partir des données SRTM (DEM). Les rivières sont subdivisées en fonction de la taille de leur bassin versant
Riversystem_MineSite.shp	Cours originaux des rivières dans les zones minières	shows the original river courses before they were altered or destroyed by alluvial mining. These were calculated from the centreline of the alluvial mining areas. The rivers are subdivided by the size of their catchment area	Cours d'eau initiaux (avant modification / destruction par l'exploitation alluvionnaire. Le calcul a été fait à partir de la ligne médiane des zones d'exploitation alluvionnaire. Les rivières sont subdivisées en fonction de la taille de leur bassin versant
WaterTurbidity_2002.shp	Turbidité des rivières et des étangs en 2002	Shows turbidity of rivers and lakes. Turbidity is a measure of the ability of light to pass through water and is calculated using Normalized Difference Turbidity Index: NDTI= (RED - GREEN)/(RED + GREEN)	Turbidité des rivières et des lacs. La turbidité est une mesure de la capacité de la lumière de traverser l'eau. Elle est calculée à l'aide de l'indice de turbidité par différence normalisée : NDTI= (ROUGE - VERT)/(ROUGE + VERT)
WaterTurbidity_2015.shp	Turbidité des rivières et des étangs en 2015		
WaterTurbidity_2019.shp	Turbidité des rivières et des étangs en 2019		
WaterTurbidity_BigRiverInMineSites_2015.shp	Turbidité des grandes rivières dans les zones minières en 2015	Shows turbidity of rivers with a catchment area larger than 1000 km <sup>2</sup> , in the surroundings of mine sites	Turbidité des rivières avec des bassins versants supérieurs à 1000 km <sup>2</sup> , aux alentours des sites miniers
WaterTurbidity_BigRiverInMineSites_2019.shp	Turbidité des grandes rivières dans les zones minières en 2019		

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 180
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Nom du fichier	Nom de la couche dans le projet ArcGIS (Alias)	Description (english)	Description (français)
WaterTurbidity_MineSite_2015.shp	Turbidité dans la zone minière en 2015	Shows turbidity of mostly waterponds in mine sites	Turbidité de la plupart des étangs miniers
WaterTurbidity_MineSite_2019.shp	Turbidité dans la zone minière en 2019		
RF_L7_SR_RGBI_2002_Nov2000_Jan2003_FINAL.fgdb	Landsat 7 (2002)	The satellite map from 2002 is from the Landsat 7 satellite. This period is used as a reference because it is the time before mining.	La carte satellite de 2002 est tirée du satellite Landsat 7. Cette période est utilisée comme référence, car il s'agit de l'époque précédant l'exploitation minière. (Non inclus dans ArcGIS Map Package, mais les cartes sont transférées en tant que géodatabase.)
RF_S2_L1C_RGBI_2015_15Dec_15Jan_FINAL.fgdb	Sentinel 2 (2015)	The Sentinel 2 satellite images for the period 15 December 2015 to 15 January 2016 constitute the first time frame for the environmental assessment.	Les images du satellite Sentinel 2 pour la période du 15 décembre 2015 au 15 janvier 2016 constituent la première tranche de temps pour l'évaluation environnementale. (Non inclus dans ArcGIS Map Package, mais les cartes sont transférées en tant que géodatabase.)
RF_S2_L2A_RGB_2019_15Nov_31Jan_FINAL.fgdb	Sentinel 2 (2019)	The satellite data from Sentinel 2 during the period between 15 November 2019 and 31 January 2020 is used as a second environmental assessment.	Les données satellitaires de Sentinel 2 pendant la période comprise entre le 15 novembre 2019 et le 31 janvier 2020 servent de deuxième évaluation environnementale. (Non inclus dans ArcGIS Map Package, mais les cartes sont transférées en tant que géodatabase.)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 181
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



Nom du fichier	Nom de la couche dans le projet ArcGIS (Alias)	Description (english)	Description (français)
srtm30_clip_fill.fgdb	SRTM (30)	digital elevation model with a resolution of 30 m	Le modèle numérique d'élévation avec une résolution de 30 m. (Non inclus dans ArcGIS Map Package, mais les cartes sont transférées en tant que géodatabase.)

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 182
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



## 8 Bibliographie

1. Ali A., Sloane D. R., Strezov V. (2018) Assessment of Impacts of Coal Mining in the Region of Sydney, Australia on the Aquatic Environment Using Macroinvertebrates and Chlorophyll as Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 7, S.1556.
2. APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC, 21<sup>st</sup> ed. Washington DC: *American Public Health Association*
3. Boaka à Koul, M.L., Yongue-Fouateu, R., Ndjigui, P.-D., (2010). The alluvial sapphire profiles of Mayo Kewol placer in the Adamawa (North-Cameroon): Granulometric and mineralogical features. *Journal of African Earth Sciences* 56 (Feb. 2010), 121-126. DOI: [10.1016/j.jafrearsci.2009.05.010](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.05.010)
4. BROWN, S., SATHAYE, J., CANNELL, M., & KAUPPI, P. E. (1996). Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Review*, 75(1), 80–91. <http://www.jstor.org/stable/42607279>
5. Du Y. et al. (2016) Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing*, vol. 8, no. 4, p. 354
6. Ekengoue, C. M. (2018) Influence De L'exploitation Artisanale Du Sable Sur La Santé Et La Sécurité Des Artisans Et L'environnement: Cas De La Carrière De Nkol'Ossananga, Région Du Centre Cameroun; in: *European Scientific Journal* 14(15), Mai 2018 ; DOI: 10.19044/esj.2018.v14n15p246
7. Energie Dev, 2020. L'ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTS PRIX DU CARBONE <https://energiesdev.fr/prix-carbone-co2/>
8. Forestry Commission England, 2017. Creating new woodland: Woodland Carbon Code [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/689431/A5\\_Leaflet\\_WC\\_Carbon\\_Code\\_V4\\_Web.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/689431/A5_Leaflet_WC_Carbon_Code_V4_Web.pdf)
9. Funoh, K. N. (2014) The impacts of artisanal gold mining on local livelihoods and the environment in the forested areas of Cameroon. working paper n° 150, *Center for International Forestry Research (CIFOR)*
10. Global Forest Watch (2021) Base de données de *Global Forest Watch* pour le Cameroun. Site web consulté le 04/01/2021 : <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/CMR>
11. Havryliuk Serhii et al. (2018), Using the Random Forest Classification for Land Cover Interpretation of Landsat Images in the Prykarpattya Region of Ukraine. Lviv, Ukraine s.n., 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT).
12. <https://goldprice.org>
13. IAK Resources AG (2013) : Vidéo présentant le travail de la compagnie grecque Metalicon Cameroon S.A. à Kambele <https://www.youtube.com/watch?v=kuEh17Tu5bQ>

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 183
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



14. Jezequel, P., Larribe, D. (1984): Protocole d'Accord pour la Recherche des Minéralisations d'Or dans la Province Aurifère de l'Est; Mission Or Batouri; Première phase, Campagne 1983; Rapport BRGM CMR 02190, non publié
15. Jin Y. et al. (2018) Land-cover mapping using Random Forest classification and incorporating NDVI time-series and texture: a case study of central Shandong, . *International Journal of Remote Sensing*, S.8703-8723.
16. Journal du Cameroun du 31/05/2021  
<https://www.journalducameroun.com/en/cameroon-seven-buried-in-landfall-at-kambele-mining-site-in-east-region/>
17. Khattab M. F. O., Merkel B. J. (2014) Application of Landsat 5 and Landsat 7 images data for water quality mapping in Mosul Dam Lake, Northern Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 7, S.3557–3573.
18. Koppert, G., Loke, M. M., Bilong, M., Fouda, G., Ndongo, G (2005) Etude environnementale du Barrage de Lom Pangar - theme 23 : socio-economie. Rapport après consultation lors de la restitution des Etudes de l'Impact sur l'Environnement.
19. Lobo F. d. L. et al. (2018) Monitoring Water Siltation Caused by Small-Scale Gold Mining in Amazonian Rivers Using Multi-Satellite Images. *Limnology - Some New Aspects of Inland Water Ecology*. 5- 11
20. Mananga, G. S., Delor, C., Bernard, J., Tucker, R., Coueffé, R., Makitie, H., Ngako, V., Monod, B., Blein, O., Roig, J.Y., Vic, G., Prognon, F., Baptiste, J. (2019): Carte géologique du Cameroun à 1 / 500 000
21. Mesmin, T., Mbevo, F. P., Haman, U., Voundi, E., Njombissie, P. I. C., Frédéric, S. (2017): Mines contre forêts et conservation au Cameroun: enjeux de l'évaluation environnementale du secteur minier pour le développement durable au Cameroun
22. MINFOF (2021) Atlas forestier du Cameroun – Portail de Données Publiques. Site web consulté le 04/01/2021 : <http://cmr-data.forest-atlas.org/>
23. MINMIDT (2021) Site Web du MINMIDT, consulté le 05/01/2021. <https://www.minmidt.cm/precasem-2/>
24. Observations des images satellites (Sentinel 2, Esri, Google Earth, Bing maps)
25. Omer Nayla Hassan (2021) Site Web "Water Quality Parameters." Water Quality - Science, Assessments and Policy. Consulté le 05/04/2021 [www.intechopen.com/online-first/water-quality-parameters](http://www.intechopen.com/online-first/water-quality-parameters), 10.5772/intechopen.89657.
26. Pizani F.M. C. et al. (2020): Estimation of Water Quality in a Reservoir from SENTINEL-2 MSI and LANDSAT-8 Oli Sensors. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume V-3-2020. 08 2020, S.401-40
27. PRECASEM : Mining Sector Capacity Building Project (draft report, no indication of authors and year).
28. Random forests for land cover classification. PalM.Toulouse, France, Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477), 2003. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. S.3510-3512, vol.6.

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 184
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						



29. Ross Bernet | October 05, 2021. How Much CO<sub>2</sub> Does A Tree Absorb?  
<https://onetreepanted.org/blogs/stories/how-much-co2-does-tree-absorb>
30. Sharon Wajsbrot, Marion Heilmann, 2021. <https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/les-industriels-salarment-de-la-flambee-du-prix-des-quotas-de-co2-1312370>
31. Statistique de déforestation pour le Cameroun  
<https://rainforests.mongabay.com/deforestation/archive/Cameroon.htm>
32. Suh, C.E., Lehmann, B., Mafany, G.T (2006) Geology and geochemical aspects of lode gold mineralization at Dimako- Mboscorro, SE Cameroon. *Exploration, Environment, Analysis*, v.6; p295-309.
33. TdR de la mission
34. Toming Kaire et al. First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. *Remote Sensing*, vol. 8, no. 8. 01 08 2016, S.640.
35. Wanek, W., Hietz, P., Huber, W., Weissenhofer, A. (Université de Vienne, 2011) : Kalkulation der Kohlenstoffbindung von Wiederbewaldungen in der Region des Esquinas Regenwaldes, Costa Rica  
[https://www.regenwald.at/fileadmin/content/filebrowser/PDF\\_Dokumente/CO2-Kalkulation\\_BOKU.pdf](https://www.regenwald.at/fileadmin/content/filebrowser/PDF_Dokumente/CO2-Kalkulation_BOKU.pdf)
36. Weltdatenatlas (Atlas des données du monde)  
<https://knoema.de/atlas/Kamerun/topics/Landnutzung/Fl%C3%A4che/Waldfl%C3%A4che-percent-der-Bodenfl%C3%A4che>
37. WHO WorldHealth Organization Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. Geneva World Health Organization, 2011.
38. Yadav, S., Yamashiki, Y., Susaki, J., Yamashita, Y., Ishikawa, K. Chlorophyll estimation of lake water and coastal water using Landsat-8 and Sentinel-2A Satellite. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(3/W7). 2019.
39. Yigit Avdan Z. et al. Monitoring the Water Quality of Small Water Bodies Using High-Resolution Remote Sensing Data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019, 8. 2019, S.553

Etat	Brouillon		Version	Date de création	Dernier changement	Imprimé le	Page 185
	Autorisé	x	1.0	28/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	
Fichier:	2020_0014_Rapp_Final_v_1.0.doc						