



Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

SITE DE MA PENSÉE

RAPPORT DÉFINITIF

Artelia Ville et Transport
Agence de la Réunion

121 Bd. Jean Jaurès
CS 31005
97404 SAINT-DENIS CEDEX
Tel. : 02 62 90 96 00
Fax : 02 62 90 96 01



SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
2. DIAGNOSTIC DE LA SITUATION ACTUELLE	3
2.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE	3
2.2. ANALYSE DES ÉTUDES ANTÉRIEURES	3
2.2.1. Données disponibles	3
2.2.2. Le bassin versant de la Rivière du Mât	4
2.2.2.1. HYDROLOGIE	4
2.2.2.2. TRANSPORT SOLIDE	5
2.2.2.3. MODÉLISATION HYDRAULIQUE	5
2.2.2.4. ESPACE DE MOBILITÉ	7
2.2.3. L'Océan	13
2.2.4. Le PPRI	14
2.2.4.1. PRÉAMBULE	14
2.2.4.2. LE ZONAGE RÉGLEMENTAIRE	14
2.2.4.3. LA RÉGLEMENTION	16
2.3. RECONNAISSANCE DE TERRAIN	19
2.3.1. Découpage des unités hydrographiques	19
2.3.2. Reconnaissance du site	21
2.3.2.1. RECONNAISSANCE INITIALE EN SEPTEMBRE 2014	21
2.3.2.2. RECONNAISSANCE SECONDAIRE EN MARS 2016	24
2.4. HYDROLOGIE	27
2.4.1. Caractéristiques des bassins versants	27
2.4.2. Hypothèses pluviométriques	27
2.4.3. Détermination des débits	28
2.4.3.1. RESULTATS	28
2.5. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE	29
2.5.1. Méthodologie	29
2.5.2. Conclusion de la phase du diagnostic	29
3. GESTIONS DES EAUX DE RUISSELLEMENT	32
3.1. INONDABILITÉ DE LA FOSSE D'EXTRACTION	34
3.1.1. Pluviométrie	34
3.1.2. Détermination du débit de fuite de la nappe	35
3.1.3. Détermination des volumes de crues	36
3.1.3.1. HORS BV AMONT	36
3.1.3.2. AVEC APPORTS BV AMONT	37
3.2. PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENTS	39
3.2.1. Protection de la fosse des apports d'eaux des BV amont	39
3.2.2. Ouvrage de franchissement de la piste d'accès	40
3.2.3. Ouvrages de gestion des eaux du stock de stériles	40
ANNEXE 1 PLANS DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT	42

TABLEAUX

TABL. 1 - BIBLIOGRAPHIE	3
TABL. 2 - SYNTHÈSE DES DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DE POINTE RETENUS	5
TABL. 3 - CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS INTERFÉRANT AVEC LA ZONE D'ÉTUDE	27
TABL. 4 - COEFFICIENTS DE MONTANA APPLIQUÉS POUR UNE CRUE DÉCENNALE	27
TABL. 5 - COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT APPLIQUÉ	28
TABL. 6 - ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUES SELON L'OCCURRENCE DE L'ÉVÈNEMENT PLUVIEUX	28
TABL. 7 - NORMALES MENSUELLES ET ANNUELLES DE PRÉCIPITATIONS	34
TABL. 8 - TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TEMPS DE VIDANGE DE LA FOSSE	36
TABL. 9 - TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TEMPS DE VIDANGE DE LA FOSSE	37
TABL. 10 - TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TEMPS DE VIDANGE DE LA FOSSE	37
TABL. 11 - ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUES SELON L'OCCURRENCE DE L'ÉVÈNEMENT PLUVIEUX	39
TABL. 12 - DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DE FRANCHISSEMENT	40
TABL. 13 - TAUX D'ABATTEMENT DES FOSSÉS ENHERBÉS (POUR 80M DE LONGUEUR MINIMUM)	40

FIGURES

FIG. 1. LOCALISATION GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE	2
FIG. 2. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INONDATION (SOURCE HYDRÉTUDES 2011)	6
FIG. 3. CARTE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE (BRGM 2006)	8
FIG. 4. ESPACE DE MOBILITÉ MAXIMAL DE LA RIVIÈRE DU MÂT AU DROIT DE LA ZONE D'ÉTUDE	9
FIG. 5. VUE SCAN 25 DE LA ZONE D'ÉTUDE ENTRE 1954 ET 2008	10
FIG. 6. ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE RÉCENTE DE LA RIVIÈRE DU MÂT	11
FIG. 7. ESPACE DE MOBILITÉ FONCTIONNEL DE LA RIVIÈRE DU MÂT AU DROIT DE LA ZONE D'ÉTUDE	13
FIG. 8. ZONAGE PPRI - 2004 BRAS-PANON	15
FIG. 9. ZONAGE PPRI - 2015 BRAS-PANON	15
FIG. 10. DÉCOUPAGE EN BASSINS VERSANTS	20
FIG. 11. RECONNAISSANCE DU SITE	21
FIG. 12. VUE AÉRIENNE GOOGLE EARTH DU 09/09/2016	24
FIG. 13. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ÉTAT ACTUEL	31
FIG. 14. PHASAGE DE LA CARRIÈRE	33
FIG. 15. PROBABILITÉ DE PLUIE À SAINT-BENOÎT (SOURCE : ATLAS CLIMATIQUE DE LA RÉUNION – MÉTÉO FRANCE)	34
FIG. 16. CARTE DE LOCALISATION DES OUVRAGES AVEC DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES DISPONIBLES (AQUIFÈRES SUPERFICIEL ET PROFOND)	35
FIG. 17. DÉCOUPAGE DES BASSINS VERSANTS	38
FIG. 18. COUPE TRANSVERSALE TYPE DE L'OUVRAGE EN ENTRÉE ET EN SORTIE DE LA FOSSE D'EXTRACTION	39
FIG. 19. COUPE LONGITUDINALE TYPE DE L'OUVRAGE EN ENTRÉE ET EN SORTIE DE LA FOSSE D'EXTRACTION	39
FIG. 20. COUPE TYPE DU FRANCHISSEMENT BUSÉ	40
FIG. 21. LOCALISATION DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT	41

PHOTOGRAPHIES

PHOTO.-1. FOSSÉ COLLECTEUR AMONT BV01	22
PHOTO.-2. VUE AMONT DU BV 01	22
PHOTO.-3. VUE AVAL DU BV 01	22
PHOTO.-4. VUE DU BV 02 AMONT DEPUIS LA RUE DE MA PENSÉE	23
PHOTO.-5. VUE DU BV 02 AVAL DEPUIS LA RUE DE MA PENSÉE	23
PHOTO.-6. ROUTE TRAVERSANT LE BV01 ET LE BV02	23
PHOTO.-7. DÉLIMITATION DU BV1 ET BV01F	25
PHOTO.-8. DÉLIMITATION DU BV2 ET BV02F	25
PHOTO.-9. MERLON NATUREL EN BORDURE OUEST DE L'EXTENSION DE LA CARRIÈRE HOLCIM	26
PHOTO.-10. MERLON NATUREL EN BORDURE EST DE L'EXTENSION DE LA CARRIÈRE HOLCIM	26

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre d'un projet de création de carrière sur la commune de Bras-Panon, le groupe NGE doit réaliser un dossier de demande d'autorisation d'exploiter (DDAE) au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

L'activité de la future installation consiste en l'exploitation à ciel ouvert d'une zone d'emprunt au lieu-dit « Ma Pensée ».

La superficie de la future exploitation est de 8,8 ha (surface d'extraction de 7,2 ha) et la profondeur d'exploitation envisagée est de 13 m en moyenne et 20 m au maximum.

La zone d'étude porte sur un secteur élargi de 20 ha.

Le dossier produit, qui comportera un volet « eau », devra notamment traiter de la gestion des eaux internes et externes du site, de l'incidence hydraulique du projet ainsi que des éventuelles mesures compensatoires à mettre en œuvre dans le cadre de la réalisation de celui-ci.

L'étude de ces aspects hydrauliques fait l'objet du présent dossier et s'articule autour des étapes suivantes :

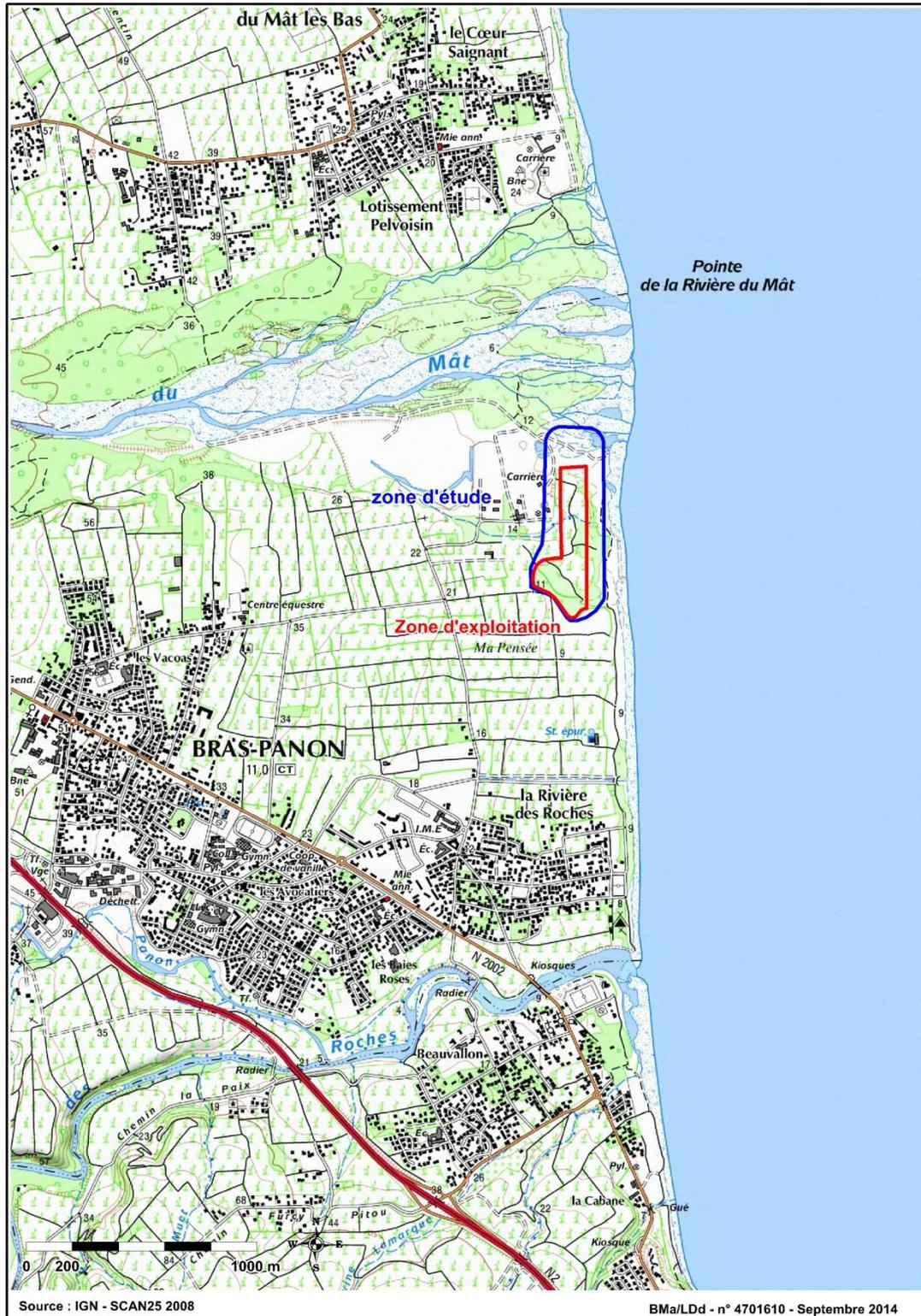
- sur la base d'une expertise hydraulique spécifique, **préciser l'aléa inondation** affectant la parcelle de projet (en situation initiale, avant travaux), ainsi que les conditions d'écoulement pour une crue centennale (hauteurs, vitesses) ;
- proposer des aménagements à un stade faisabilité permettant de gérer les apports d'eau amont en phase d'exploitation ;
- **caractériser l'incidence hydraulique du projet** sur l'écoulement en crue des ravines riveraines, en terme d'exposition au risque d'inondation pour les parcelles amont et aval ;
- apporter une assistance technique lors de la rédaction du volet eau du dossier ICPE, sur la base des études hydrauliques et hydrogéologiques.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Fig. 1. Localisation générale de la zone d'étude



2. DIAGNOSTIC DE LA SITUATION ACTUELLE

2.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude se situe entre la ville de Bras-Panon, au *sud-ouest*, l'exutoire de la Rivière du Mât, au *nord* et l'océan Indien à l'*est*.

Elle est bordée, au *nord-ouest*, par la carrière HOLCIM, et à l'*est*, par le littoral qui constitue sa limite aval.

La zone d'étude, d'une superficie globale d'environ 20 ha, se situe entre les cotes 4 mNGR et 15 mNGR.

Les bassins versants amont interférant avec la zone d'étude, ainsi que la zone d'étude, sont essentiellement constitués de terres à vocation agricole (canne à sucre).

2.2. ANALYSE DES ÉTUDES ANTÉRIEURES

2.2.1. Données disponibles

Tabl. 1 - BIBLIOGRAPHIE

Réf.	Intitulé	Auteur	Maître d'Ouvrage	N° dossier	Date
Etudes générales					
1.	Extension d'une carrière de matériaux alluvionnaires – Dossier de demande d'autorisation	SEGC	HOLCIM		sept-12
2.	Etude hydraulique de la Rivière du Mât – étude de l'impact de l'exploitation d'une nouvelle aire d'extraction de granulats	Hydrétudes	HOLCIM		Déc. 2011
3.	Rivière du Mât – Travaux d'urgence suite aux crues de 2006 - Recommandations	SOGREAH	DDE		mars-07
4.	Caractéristiques géomorphologiques du lit de la Rivière du Mât entre le Pont de l'Escalier et le littoral	BRGM			mars-06
5.	Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) sur la commune de Bras-Panon	SOGREAH	DEAL	850116	juil-03
6.	Etude d'Impact – Installation d'une centrale d'enrobé à chaud	SEGC	SBIE		mai-02
7.	Evolution du trait de côte de la plaine de la Rivière du Mât de 1950 à 1997	BRGM	Conseil Régional		juin-01
8.	Etude d'Impact – Création d'une carrière de matériaux alluvionnaires	SEGC	SGCR		avril-99
9.	Etude préalable à l'élaboration du PPR pour la commune de Bras-Panon – Phases 1, 2 et 3	SOGREAH	Conseil Régional	304098	déc-95 à mai-96
10.	Schéma Technique de Protection contre les crues (STPC)	BCEOM	Commune de Bras-Panon		août-93

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Réf.	Intitulé	Auteur	Maître d'Ouvrage	N° dossier	Date
11.	Monographie de la rivière du Mât – Eléments d'hydrologie, d'érosion et de transport sédimentaire.	LCHF	DDE		août-84
12.	APS – Rivière du Mât – Mise hors d'eau – Zone INCb	SET	Commune de Bras-Panon		oct-81
13.	APS pour la protection des berges de la Rivière du Mât	SET	Commune de Bras-Panon		août-81
Données météorologiques					
14.	Statistiques météo France sur la période 1969-2008 -* Station de Menciol	Météo France			
Données topographiques					
15.	Plan photogrammétrique prise de vue juin 2013, plan n° 13-309 restitution	Cabinet Veyland	Guintoli – Groupe NGE	13-309	juin-13
16.	SCAN 25 © Réunion (Licence n° 5249)	IGN			2008

2.2.2. Le bassin versant de la Rivière du Mât

La Rivière du Mât prend sa source dans le cirque de Salazie à environ 36 km en amont de son exutoire en mer. Elle comporte plusieurs affluents dont les plus importants sont la Rivière Fleurs Jaunes, le Bras des Cavernes et le Bras des Lianes. La superficie de l'ensemble du bassin versant de la Rivière du Mât est d'environ 145 km².

La Rivière du Mât est très encaissée dans sa partie amont et emprunte de profondes gorges avant de s'élargir à la sortie du cirque. Elle forme donc dans son extension aval un large cône alluvial sur lesquels s'étendent en partie les communes de Bras-Panon et Saint-André.

Plusieurs études antérieures ont défini l'hydrologie de la rivière ainsi que des indications quant au transport solide potentiellement observable en crue.

De plus, une modélisation hydraulique de la Rivière du Mât en crue centennale a été effectuée au droit de la zone d'étude dans le cadre de la demande d'autorisation pour l'extension de la carrière HOLCIM.

2.2.2.1. HYDROLOGIE

Les valeurs caractéristiques de débits étudiés dans les études précédentes sont synthétisées dans le tableau suivant. Il convient de rappeler qu'elles résultent de l'application de la formule rationnelle qui, compte tenu du manque de données hydrométriques sur la zone d'étude, apparaît être l'approche la plus pertinente.

L'analyse pluviométrique est issue du STPC (Schéma Technique de Protection contre les Crues) de Bras-Panon, qui se base sur les données de 8 postes pluviométriques du voisinage de la commune de Bras-Panon.

Les valeurs des débits caractéristiques sont également issues du STPC. Ce sont celles-ci qui ont été retenues dans le PPRI de la commune de Bras-Panon, notamment par souci de sécurité, ces valeurs étant légèrement plus élevées que celles qui ont pu être calculées en suivant la méthode du GEDC (Guide d'Estimation des Débits de Crue à la Réunion – BCEOM/SOGREAH 1992).

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Tabl. 2 - Synthèse des débits caractéristiques de pointe retenus

Débit (m ³ /s)	BV (km ²)	Q _{10ans} (m ³ /s)	Q spécifique (m ³ /s/km ²)	Q _{100ans} (m ³ /s)	Q spécifique (m ³ /s/km ²)
Rivière du Mât (pont sous la RN 2)	145	1200	8,3	3800	26,2

2.2.2.2. TRANSPORT SOLIDE

L'analyse bibliographique sur le transport solide de la Rivière du Mât indique les ordres de grandeur suivants :

- Apports annuels moyens en matériaux : 183 000 m³ (soit 1 250 m³/km²/an) ;
- Apport d'une crue de type Hyacinthe (période de retour d'environ 50 ans) : 380 000 m³ (soit 2 600 m³/km²).

Ces valeurs, évaluées à l'aide d'une loi théorique de transport solide et d'une reconstitution des débits de crue, paraissent faibles au regard des ordres de grandeur mis en évidence sur la Rivière des Pluies, à partir d'une reconstitution de l'évolution du lit entre 1971 et 1980 (en incluant Hyacinthe). La valeur estimée des apports pour ce dernier événement donnait un ratio de 6 200 à 7 700 m³/km², dans un contexte géologique globalement moins favorable à l'érosion.

L'application de ce ratio au bassin versant de la Rivière du Mât donnerait un volume d'apport de **900 000 à 1 100 000 m³** pour un évènement équivalent à Hyacinthe.

2.2.2.3. MODÉLISATION HYDRAULIQUE

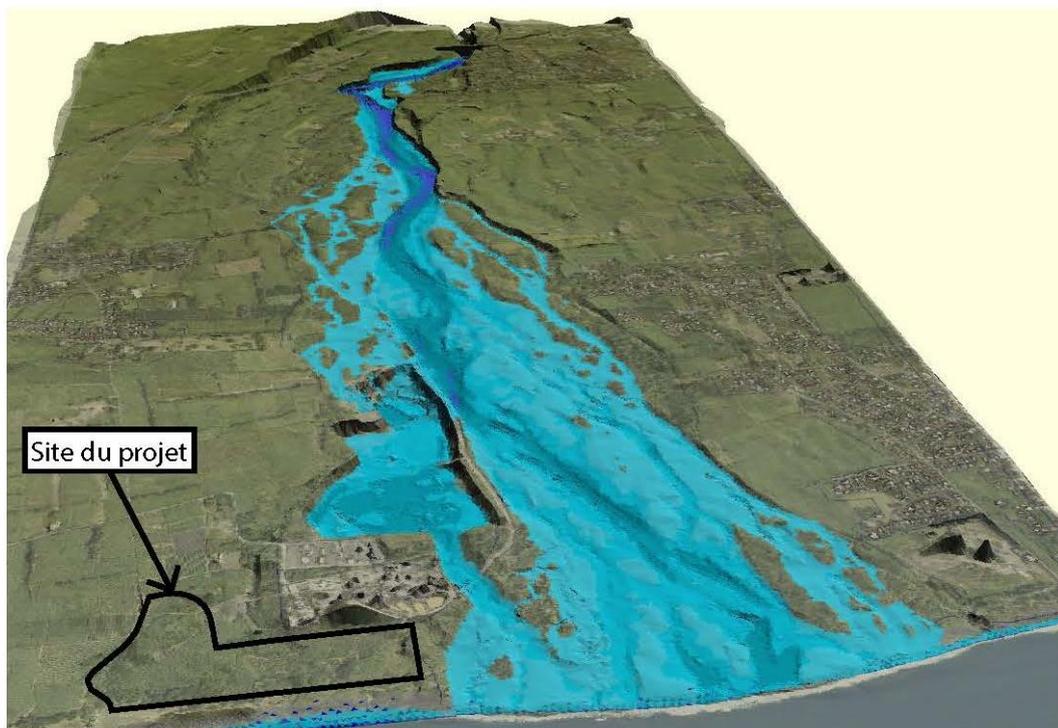
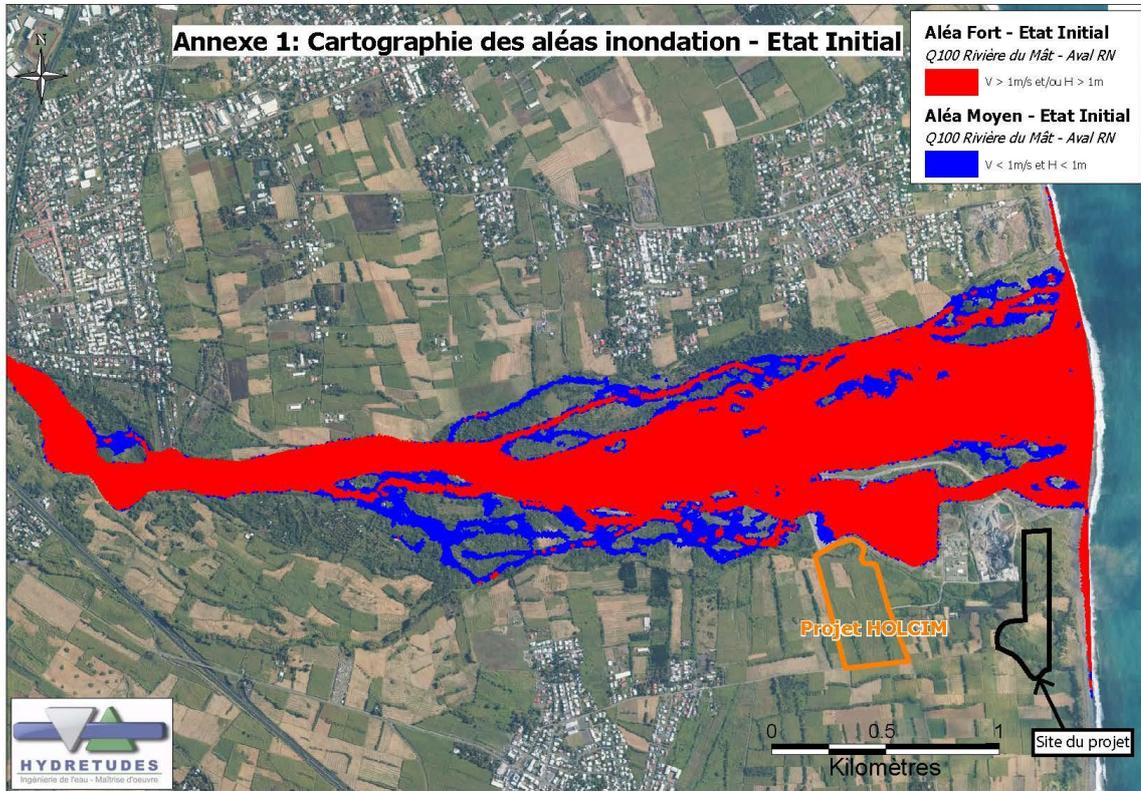
Une modélisation hydraulique en deux dimensions de la Rivière du Mât en crue centennale a été effectuée au droit de la zone d'étude dans le cadre de l'extension de la carrière HOLCIM (cf. réf.2). Celle-ci se base sur un débit de pointe centennial de 3 300 m³/s, et un temps de concentration de 4h à l'exutoire. La cartographie d'inondation qui en résulte est présentée ci-dessous. La zone d'étude semble donc être en dehors des zones inondées pour un tel évènement, en considérant le profil de la rivière actuel.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Fig. 2. Cartographie de l'aléa inondation (source Hydrétudes 2011)



2.2.2.4. ESPACE DE MOBILITÉ

2.2.2.4.1. Principes généraux

Les carrières sont principalement régies par l'arrêté du 22 septembre 1994, consolidé au 27 août 2010. Celui-ci stipule notamment que les exploitations de carrières de granulats sont interdites dans l'espace de mobilité des cours d'eau.

L'arrêté fixe la distance minimale séparant les limites de l'extraction de celle du lit mineur des cours d'eau ou plans d'eau traversés par un cours d'eau.

Cette distance doit garantir la stabilité des berges.

Elle ne peut être inférieure à **50 mètres** vis-à-vis des cours d'eau ayant un lit mineur d'au moins **7,50 mètres de largeur**. Elle ne peut être inférieure à 10 mètres vis-à-vis des autres cours d'eau.

L'espace de mobilité du cours d'eau est défini comme l'espace du lit majeur à l'intérieur duquel le lit mineur peut se déplacer. L'espace de mobilité est évalué en tenant compte de la connaissance de l'évolution historique du cours d'eau et de la présence des ouvrages et aménagements significatifs, à l'exception des ouvrages et aménagements à caractère provisoire, faisant obstacle à la mobilité du lit mineur.

A ce titre, le SDAGE Rhône Méditerranée a publié un guide technique pour la détermination de l'espace de liberté des cours d'eau, présentant une méthodologie divisée en trois étapes définissant les espaces de mobilité suivants :

- L'espace de mobilité maximal,
- L'espace de mobilité fonctionnel,
- L'espace de mobilité minimal.

Le but de cette cartographie en trois temps est de trouver un espace suffisant pour la rivière (pour éviter tout dysfonctionnement morphologique et écologique) qui reste acceptable par les riverains et élus locaux.

La démarche employée ci-après s'appuie ainsi notamment sur la méthode proposée dans ce guide technique, afin de délimiter 2 espaces emboîtés :

- l'espace de mobilité maximal (EMAX), correspondant à l'ensemble du fond de vallée,
- l'espace de mobilité fonctionnel (EFONC), basé sur des critères essentiellement géomorphologiques et sédimentologiques, mais dans lequel les contraintes socio-économiques majeures peuvent être prises en compte.

2.2.2.4.2. Espace de mobilité maximal

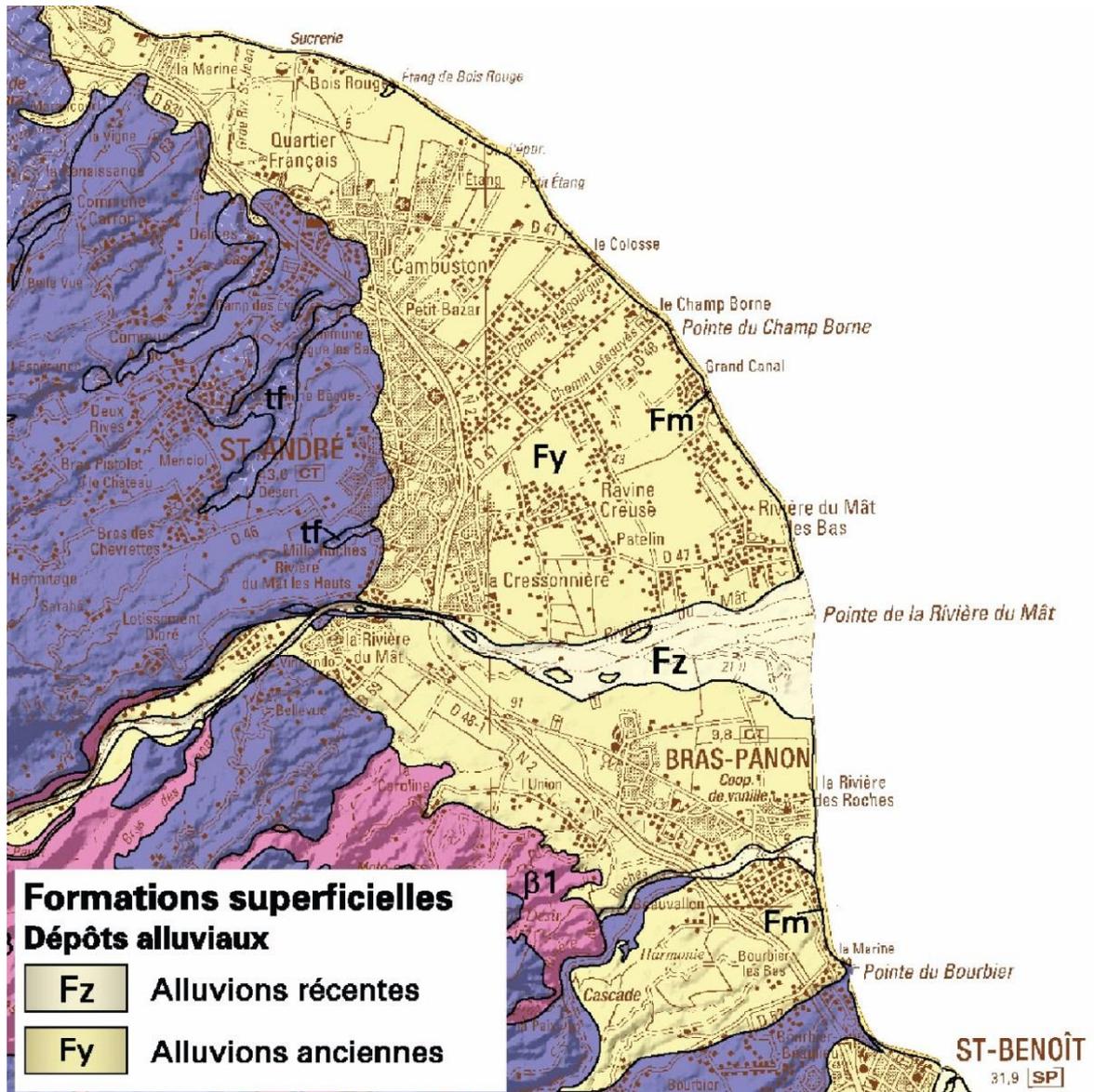
L'espace de mobilité maximal (EMAX) délimite l'espace balayé par le cours d'eau à l'échelle des derniers milliers d'années. Il correspond donc au fond de vallée et n'est pas entièrement mobilisable à notre échelle de temps. Il correspond à l'espace alluvionnaire Fy ou Fz des cartes géologiques.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Fig. 3. Carte géologique de la zone d'étude (BRGM 2006)



La zone Fy autour de la Rivière du Mât (alluvions anciennes) intègre donc un cône très large allant de Sainte-Suzanne au sud de Bras-Panon.

La zone Fz (alluvions récentes) intègre l'espace balayé par les chenaux d'écoulements récents. On étend cette zone jusqu'aux limites des basses terrasses lorsqu'elles n'y sont pas incluses. Cela constitue alors une cartographie de l'espace de mobilité maximal de la Rivière du Mât.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

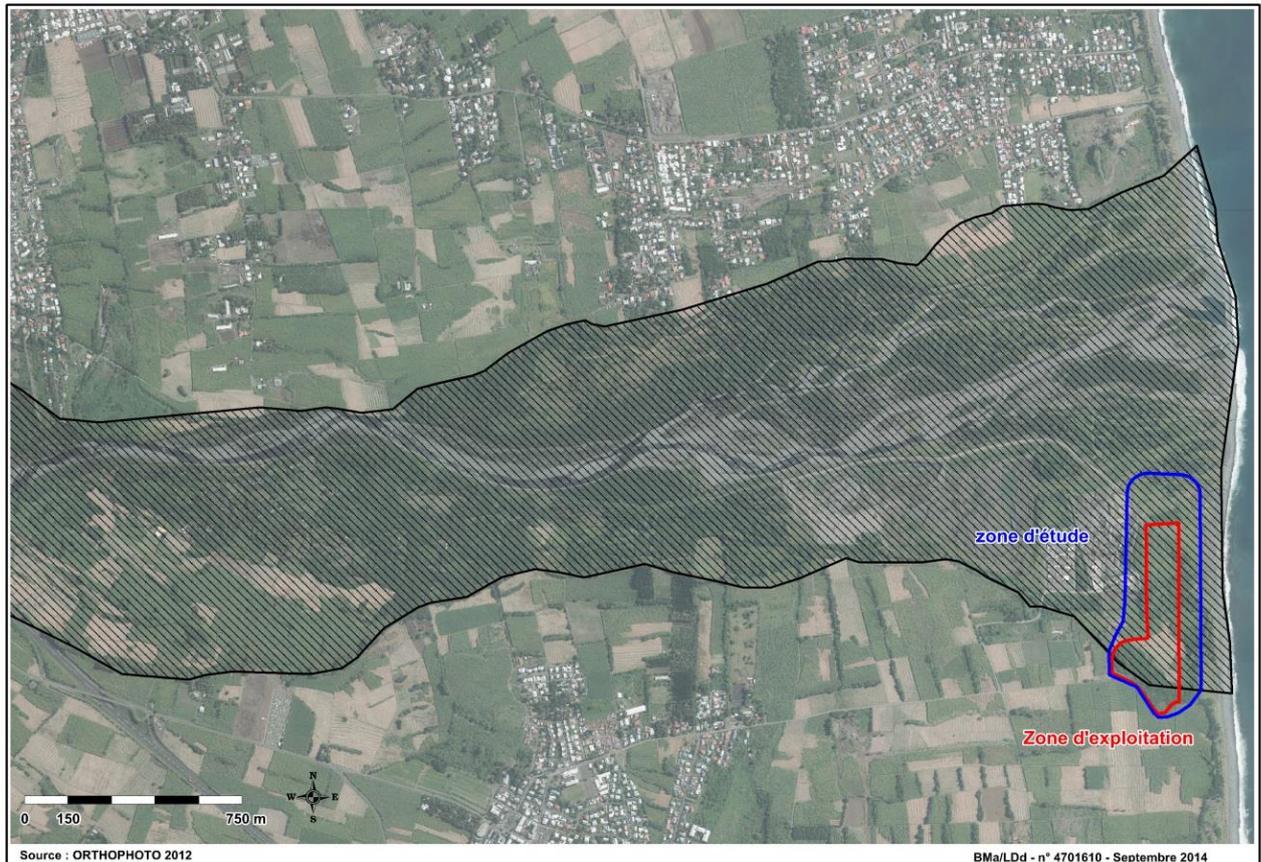


Fig. 4. Espace de mobilité maximal de la Rivière du Mât au droit de la zone d'étude

2.2.2.4.3. Espace de mobilité fonctionnel

L'espace de mobilité fonctionnel est cartographié dans un premier temps sur la base d'une analyse morphologique, puis il est retouché pour sortir de cet espace l'ensemble des contraintes majeures existantes (route départementale, autoroute, voie ferrée et pont, habitations, zones d'activités, zones industrielles, etc.).

Les contraintes socio-économiques secondaires (axes de communication communaux, puits de captages, certaines gravières de volume restreint, habitations isolées) y sont généralement intégrées (déplacement de puits menacés, rachat d'habitations menacées, etc.).

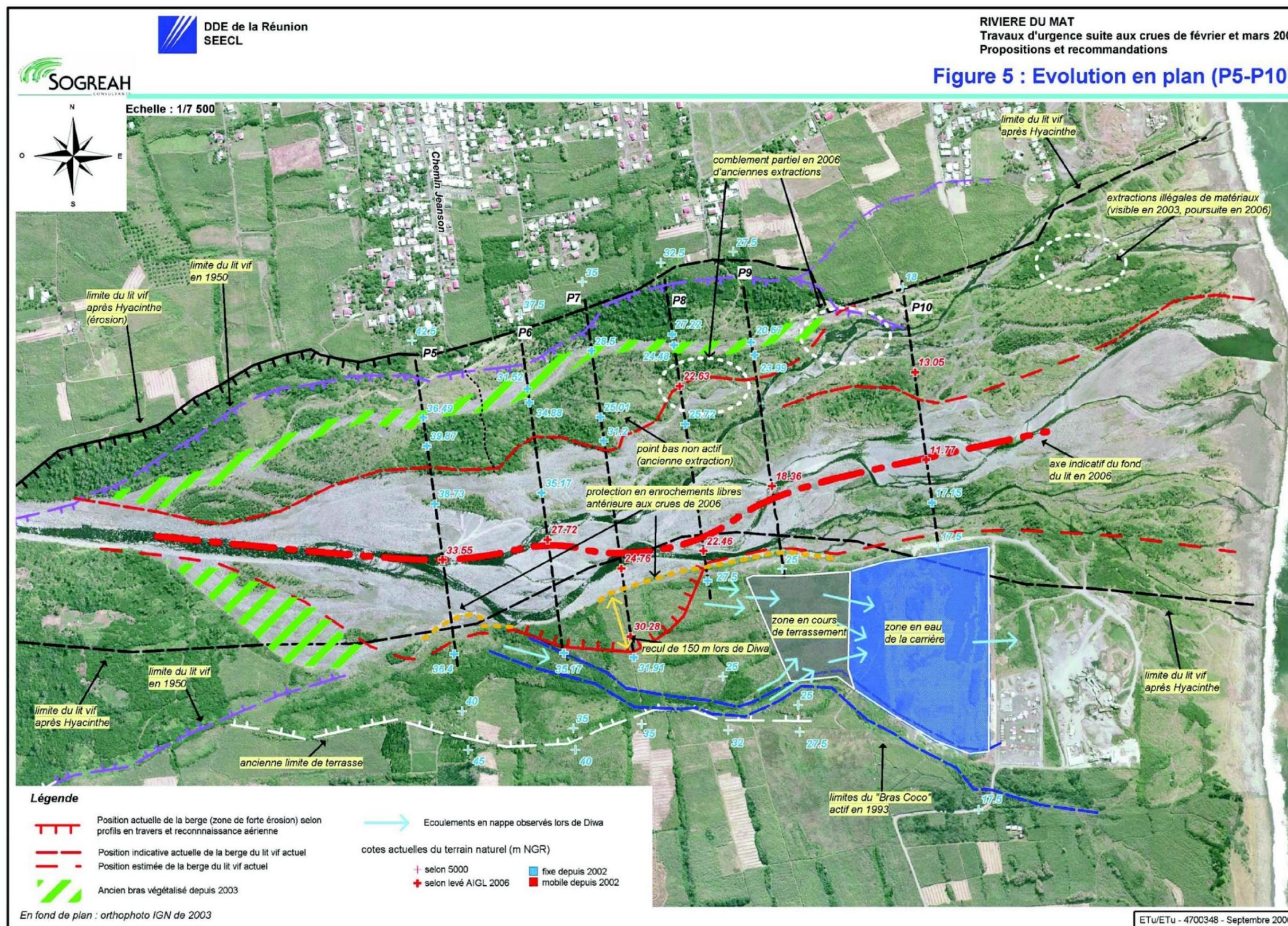
L'évolution du lit mineur de la Rivière du Mât au droit de la zone d'étude peut tout d'abord être visualisée sur les différents SCAN25, de 1954 à 2008.

De plus, une étude réalisée par SOGREAH en 2006, suite aux crues de février et mars 2006 sur la Rivière du Mât, présente l'évolution morphologique récente de la Rivière du Mât sur le secteur.

Fig. 5. Vue SCAN 25 de la zone d'étude entre 1954 et 2008



Fig. 6. Evolution morphologique récente de la rivière du Mât



Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

On constate sur ces figures le déplacement spatial des bras de la Rivière du Mât au cours du temps.

Les précisions suivantes peuvent être apportées afin de justifier la limite *sud* de l'espace de mobilité fonctionnel.

Le Bras Coco, bras le plus au *sud* de la Rivière du Mât et traversant la zone d'étude, a été comblé récemment et n'est donc pas actuellement actif. Le bras coco se termine dans la zone d'extraction actuelle de la carrière Holcim.

Cependant, le rapport de SOGREAH daté de 2006 indique les éléments suivants, à propos du Bras Coco et de la carrière actuellement exploitée :

- Le site d'exploitation des matériaux est inclus dans une basse terrasse en bordure du lit actif actuel, limitée au *sud* par une ancienne limite de lit, d'un dénivelé de 5 m en amont, s'amenuisant en aval jusqu'à disparaître au niveau des installations industrielles ;
- L'altitude de cette terrasse est sensiblement équivalente à celle des îles boisées du lit de la rivière, même au milieu du lit actif actuel ;
- Cette terrasse n'a pas été visiblement sollicitée au cours des cinquante dernières années, sauf en partie *nord-est* de l'actuelle zone en eau de la carrière (Hyacinthe) et par l'écoulement du « Bras-Coco » en 1993 (Colina).
- A priori sur ce site où était situé un hameau, en 1927, une dizaine de personnes (sur 90) avait péri noyées, surprises par la montée des eaux ;
- La protection du site d'extraction était réalisée, par un cordon de gros enrochements disposé le long de la berge et en « fermeture » de l'entrée du Bras Coco. Il subsiste un doute sur la réalisation de cette protection en aval de l'entrée du Bras Coco, sur 150 m, en extrados d'un bras vif déjà présent en 2003.
- Si la crue de février 2006 a amorcé une érosion à ce point de la berge, c'est la crue liée à Diwa qui a entraîné les changements les plus importants :
 - Contournement et destruction partielle de la fermeture de l'entrée du Bras Coco ;
 - Ecoulement par le Bras Coco rejoignant la zone exploitée ;
 - Creusement d'une anse d'érosion en aval de l'entrée du Bras Coco et destruction d'une partie de la protection existante ;
 - Débordement en aval de cette anse d'érosion vers la zone d'exploitation ;
 - Débordement de la partie en eau vers les installations industrielles.

La modélisation hydraulique 2D de la Rivière du Mât en crue centennale effectuée par HYDRETTUES montre que la plateforme portant les installations GTOI et HOLCIM est en surélévation topographique. Ainsi, la crue traverse les plans d'eau d' HOLCIM et déborde au Nord de cette plateforme (Fig. 2 et Fig. 6).

L'ensemble de ces éléments permet alors de délimiter un espace de mobilité fonctionnel de la Rivière du Mât, plus restreint que l'espace de mobilité maximal, prenant notamment en compte le site industriel d'HOLCIM.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

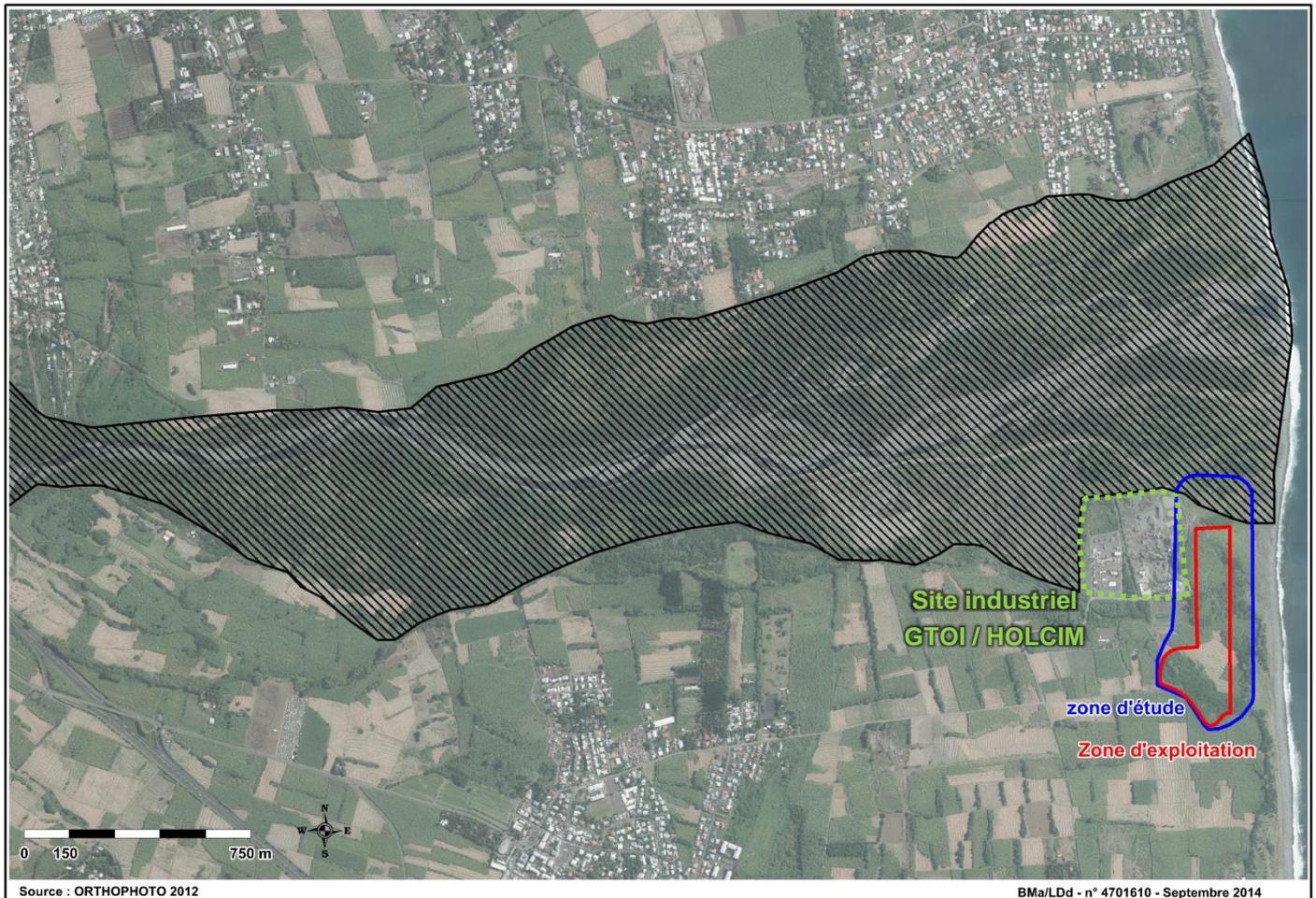


Fig. 7. *Espace de mobilité fonctionnel de la Rivière du Mât au droit de la zone d'étude*

2.2.3. L'Océan

L'extrémité est de l'emprise du projet se situe à environ 50 m de l'Océan Indien. Le littoral se caractérise par une mince bande côtière, constituée par des sables et galets provenant du remaniement des alluvions fluviales de la rivière du Mat.

Le trait côtier est donc dépendant de l'alimentation de la rivière en matériaux et peut donc varier dans le temps.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

2.2.4. Le PPRI

2.2.4.1. PRÉAMBULE

Le PPRI de Bras-Panon a été approuvé le 23 février 2004.

La révision de ce PPRI a été prescrite par arrêté préfectoral le 7 octobre 2015 et est actuellement en cours d'élaboration.

Il devient multirisque à savoir :

- Inondation ;
- Mouvement de terrain ;
- Aléa marin (houle / submersion marine et recul du trait de côte).

Une première présentation de cette nouvelle cartographie a été présentée à la commune de Bras-Panon en 2015. Cette présentation a fait l'objet d'un porter à connaissance (PAC) officiel le 3 mars 2015.

C'est donc l'ancien zonage qui est opposable avec la réglementation qui y est associée.

Ce nouveau zonage est plus précis et plus en cohérence avec la configuration actuelle du site.

Nous proposons donc :

- De présenter le zonage de 2004 à titre d'information (bien qu'il soit le seul opposable actuellement) – cf. Fig. 8 ;
- De prendre en compte le nouveau zonage de 2015 – cf. Fig. 9 ;
- De prendre le règlement de 2004 pour la traduction réglementaire de ce nouveau zonage.

2.2.4.2. LE ZONAGE RÉGLEMENTAIRE

Le PPRI de 2004 cartographie une partie de la zone d'étude en zone rouge, avec une réglementation (C+Q+R) ou (A+Q+R) pour la partie *ouest* du site (Les dénominations et la réglementation associée sont données page 17).

Il est à noter que le nouveau PPRI modifiera la réglementation. La zone rouge (C+Q+R) et (A+Q+R) deviendra la zone R1, zone la plus fortement exposée à un aléa. Par ailleurs, si l'on se réfère à la réglementation du PPRI de Saint-Pierre approuvé le 1^{er} avril 2016, les carrières sont autorisées en zone R1 si elles sont dans le respect des réglementations en vigueur (notamment réglementation ICPE), sous réserve qu'une étude d'impact intègre la gestion des risques.

Transcription réglementaire aléa/enjeux			MOUVEMENTS DE TERRAIN				
			Très élevé élevé	Moyen		Modéré Faible	Nul
				Autres secteurs	Secteurs urbains à enjeux		
INONDATION	fort	Hors centre urbain	R1	R1	R1	R1	R1
		Centre urbain				R1B1	
	moyen	R1	R2	B2u	B2	B2	
	faible	R1	R2	B2u	B3	B3	
	nul	R1	R2	B2u			

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

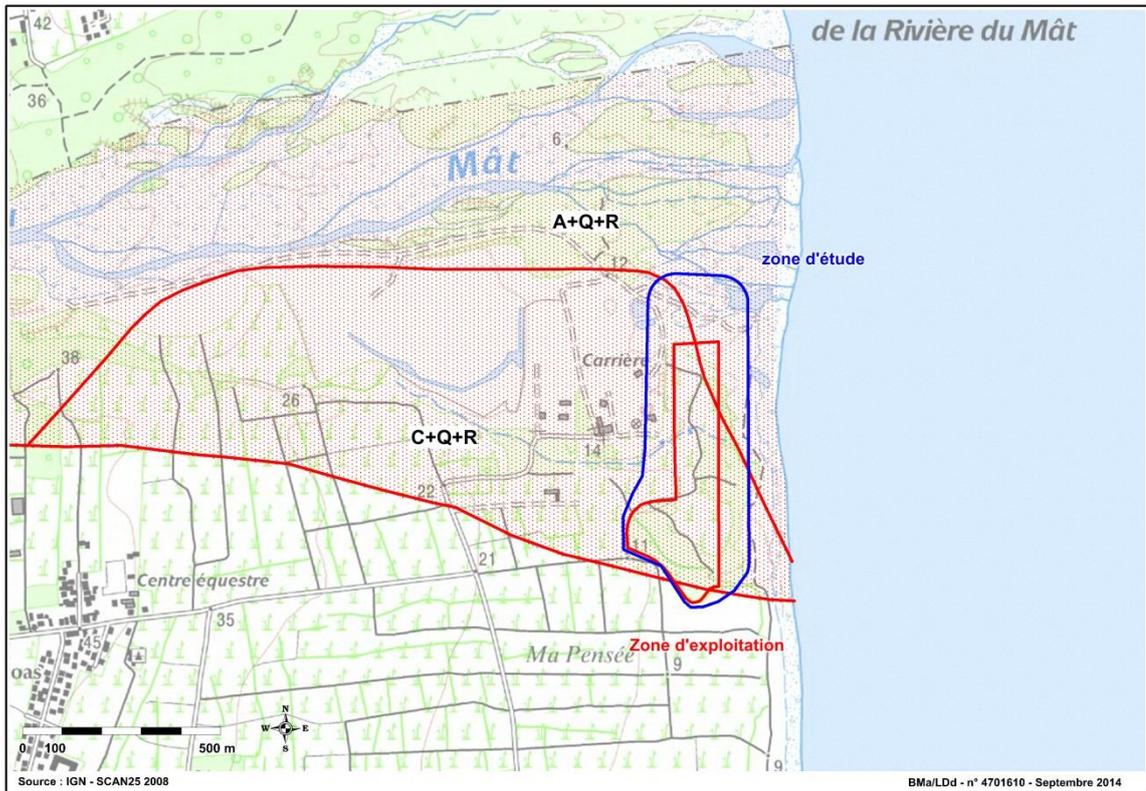


Fig. 8. Zonage PPRi - 2004 Bras-Panon

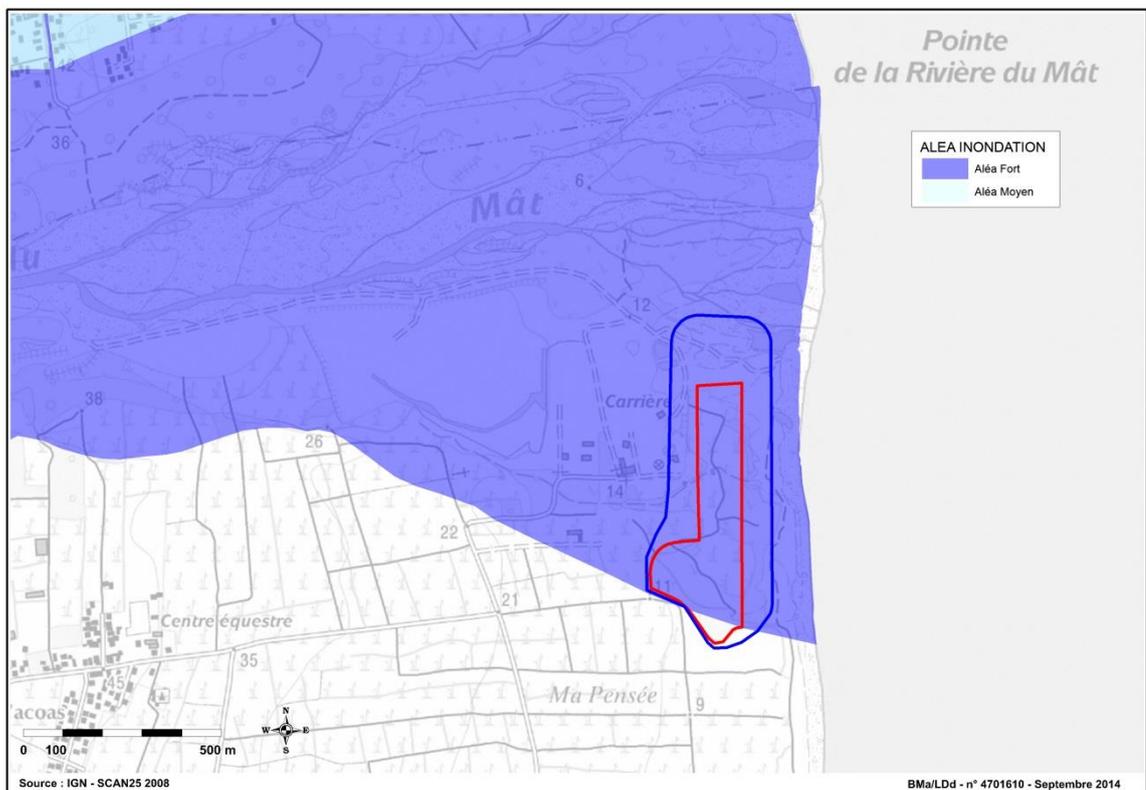


Fig. 9. Zonage PPRi - 2015 Bras-Panon

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Les niveaux d'aléa sont définis en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses potentiellement observables en crue centennale.

Pour les zones d'aléa fort, les hauteurs d'eau sont supérieures à 1m et/ou les vitesses supérieures à 1m/s.

Dans le cadre de l'élaboration du PPRi, aucune modélisation n'a été effectuée ni sur la Rivière du Mât ni sur les différents thalwegs.

Pour les ravines marquées, aux berges nettement dessinées ou en remparts, réputées non débordantes, la zone d'aléa cartographiée correspond à l'emprise du lit de la ravine (espace situé entre les deux berges) et est déterminée à partir de la topographie disponible.

Pour les thalwegs secondaires, le zonage a été déterminé à partir d'une analyse morphologique basée sur une analyse des données topographiques disponibles.

Ces analyses cartographiques ont été complétées par des reconnaissances terrain dans les secteurs à enjeux.

2.2.4.3. LA RÉGLEMENTION

2.2.4.3.1. **Recommandations générales**

Les zones susceptibles d'être exposées à des risques naturels et éventuellement non cartographiées devront suivre au moins les recommandations générales énoncées ci-après (extrait du règlement PPRi) :

- Le libre écoulement des eaux et les champs d'inondation ne doivent pas être restreints (clôtures totalement en dur et remblais significatifs¹ à proscrire, etc.) ;
- Tout projet de construction devra être évité, voire proscrit, dans les thalwegs ou à proximité immédiate (car lors de fortes précipitations, les zones en creux d'un terrain peuvent se transformer subitement en ravine) ;
- Le niveau inférieur du premier plancher habitable d'une construction doit être protégé de l'eau par des mesures appropriées (surhaussement, pilotis, etc.) ;
- Toute disposition devra être prise pour que les structures susceptibles d'être exposées aux flots puissent résister aux pressions pouvant survenir ;
- Les sols particulièrement soumis aux risques d'érosion doivent être plantés d'espèces végétales stabilisatrices ;
- Les ouvrages/constructions sur des terrains susceptibles d'être exposés à des glissements, doivent être réalisés avec des techniques appropriées n'aggravant pas les risques et leurs effets.

¹ Cf. art. R.214-1 du code de l'environnement – Rubrique 3.2.2.0 de la nomenclature, relative aux remblais en lit majeur

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

2.2.4.3.2. **Dispositions applicables en Zone rouge (extrait)**

Le règlement associé à ce zonage est précisé ci-dessous.

Zones P.P.R. (risque hiérarchisé)	Codes	Prescriptions réglementaires
ZONE ROUGE (A) Très fortement exposée	SONT INTERDITS	
	2	Tous travaux, remblais, constructions, installations et activités, de quelque nature qu'ils soient.
	SONT ADMIS	
	7	Les travaux et installations destinés à réduire les conséquences des risques.
ZONE ROUGE (C) Très exposée – Présence de bâti	SONT INTERDITS	
	1	Tous travaux, remblais, constructions, installations et activités, de quelque nature qu'ils soient, à l'exception de ceux admis ci-après.
	SONT ADMIS	
	3	Les travaux d'entretien et de gestion courants des constructions et installations, à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.
	6	Les travaux d'infrastructure publique et les travaux annexes qui leur sont liés, à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.
	7	Les travaux et installations destinés à réduire les conséquences des risques.
	8	Les déblais qui constituent une mesure compensatoire ou améliorent l'écoulement ou le stockage des eaux.
9	Les clôtures doivent être ajourées sur les deux tiers au moins de leur surface sans soubassement continu. Pour l'existant, cette prescription devra être respectée autant que faire se peut, et s'imposera à tous les travaux de réparation ou renouvellement.	
PRESCRIPTIONS PARTICULIERES (à utiliser surtout dans les zones bleues moyennement exposées, mais pas exclusivement)		
Aménagements légers de loisir et de détente (Q)	SONT ADMIS OU TECHNIQUES PARTICULIERES	
	6b	Les aménagements légers de loisir et de détente, à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

SONT ADMIS OU TECHNIQUES PARTICULIERES	
Espaces carrières (R)	<p style="text-align: center;">8b</p> <p>Les projets d'extraction de matériaux (carrières ne comprenant que des équipements mobiles devant être évacués en cas de fortes pluies) à condition qu'ils ne réduisent pas les champs d'expansion, et qu'ils intègrent dans l'étude d'impact une étude hydraulique et sédimentaire spécifique démontrant que les aléas d'inondation (submersion, érosion) ne sont pas aggravés pour un évènement centennal.</p>

Ce secteur est donc soumis à des apports d'eau massifs en cas de fortes pluies. Pour la viabilité du projet, l'ensemble de ces apports d'eau amont devra être géré par la mise en place d'ouvrages adaptés.

Le projet tel qu'il est défini par Guintoli répond au point R. En effet, le projet ne réduit pas le champ d'expansion des crues et les installations prévues sont mobiles.

2.3. RECONNAISSANCE DE TERRAIN

Ces reconnaissances ont été réalisées durant le mois d'octobre 2013 et complétées en septembre 2014. Elles ont permis d'identifier les points caractéristiques du réseau hydrographique sur les secteurs étudiés, de caractériser les ouvrages hydrauliques existants et de redéfinir plus précisément le découpage des bassins versants.

2.3.1. Découpage des unités hydrographiques

Le bassin versant étudié est constitué du bassin versant de la Rivière du Mât et de 3 sous-bassins versants, dont l'exutoire se situe directement au niveau de l'océan.

Ils se développent entre 0 et 3070 mNGR pour la Rivière du Mât et entre 4,3 et 60 mNGR pour les sous bassins versants.

A préciser que le projet est concerné par les 3 sous-bassins versants BV01, BV02 et BV03 figurés sur la deuxième carte de la page suivante, mais pas par le bassin versant de la Rivière du Mât figurés sur la première carte de la page suivante. Ceci est la conséquence de l'évolution du lit de la Rivière du Mât. En effet, le projet se trouve dans un assemblage de petits BV issus du lit « historique » de la Rivière du Mat (on se trouve pour rappel dans la plaine alluviale de la Rivière du Mat). Ces BV sont maintenant indépendants vis-à-vis de cette rivière pour toutes les crues de référence.

Un premier découpage a été effectué à partir des cartes IGN 25000 et affiné par une reconnaissance détaillée du site.

Ces reconnaissances ont été effectuées durant le mois d'octobre 2013. Elles ont permis d'identifier les points caractéristiques du réseau hydrographique sur le secteur étudié et de caractériser les ouvrages hydrauliques existants.

En septembre 2014, une reconnaissance complémentaire a été effectuée ayant permis notamment d'intégrer les aménagements en cours au niveau de la carrière Holcim actuelle et son extension.

La figure page suivante présente le découpage des bassins versants en découplant.

Ce découpage intègre aussi la mise en place de l'extension de la carrière Holcim. Telle qu'envisagée (cf. réf. 1 - Tabl. 1 - page 3), cette extension intercepte les eaux du BV01 et potentiellement celle du BV02. Cependant, dans le dossier d'extension de la carrière Holcim, aucune indication n'est faite quant à la gestion des eaux pluviales (que ce soit en état initial, phase d'exploitation ou après remise en état du site).

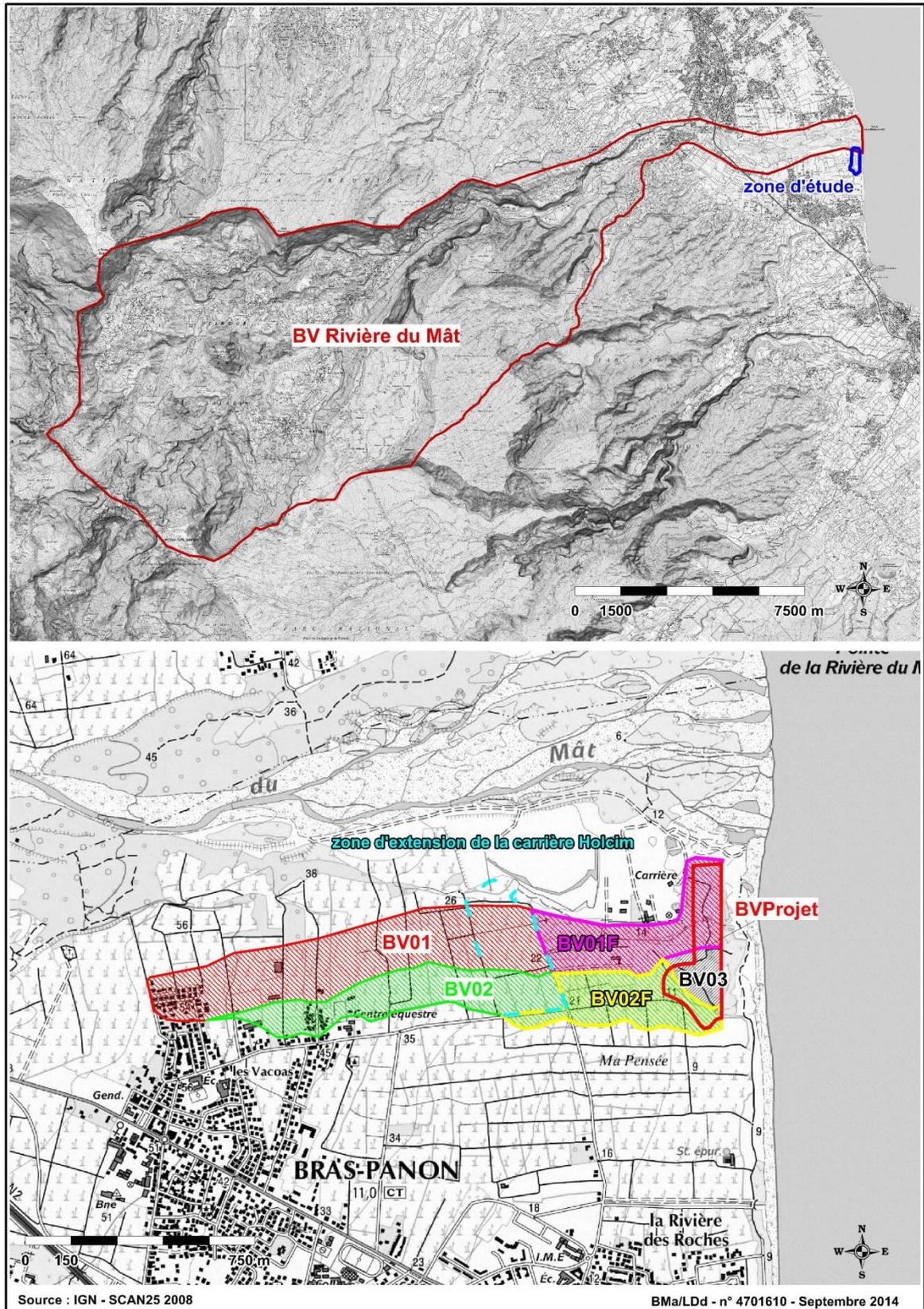
En absence d'indication précise à ce stade de l'étude, l'hydrologie étudiée dans le cadre du présent dossier intégrera les diverses possibilités d'apport amont.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Fig. 10. Découpage en bassins versants



Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

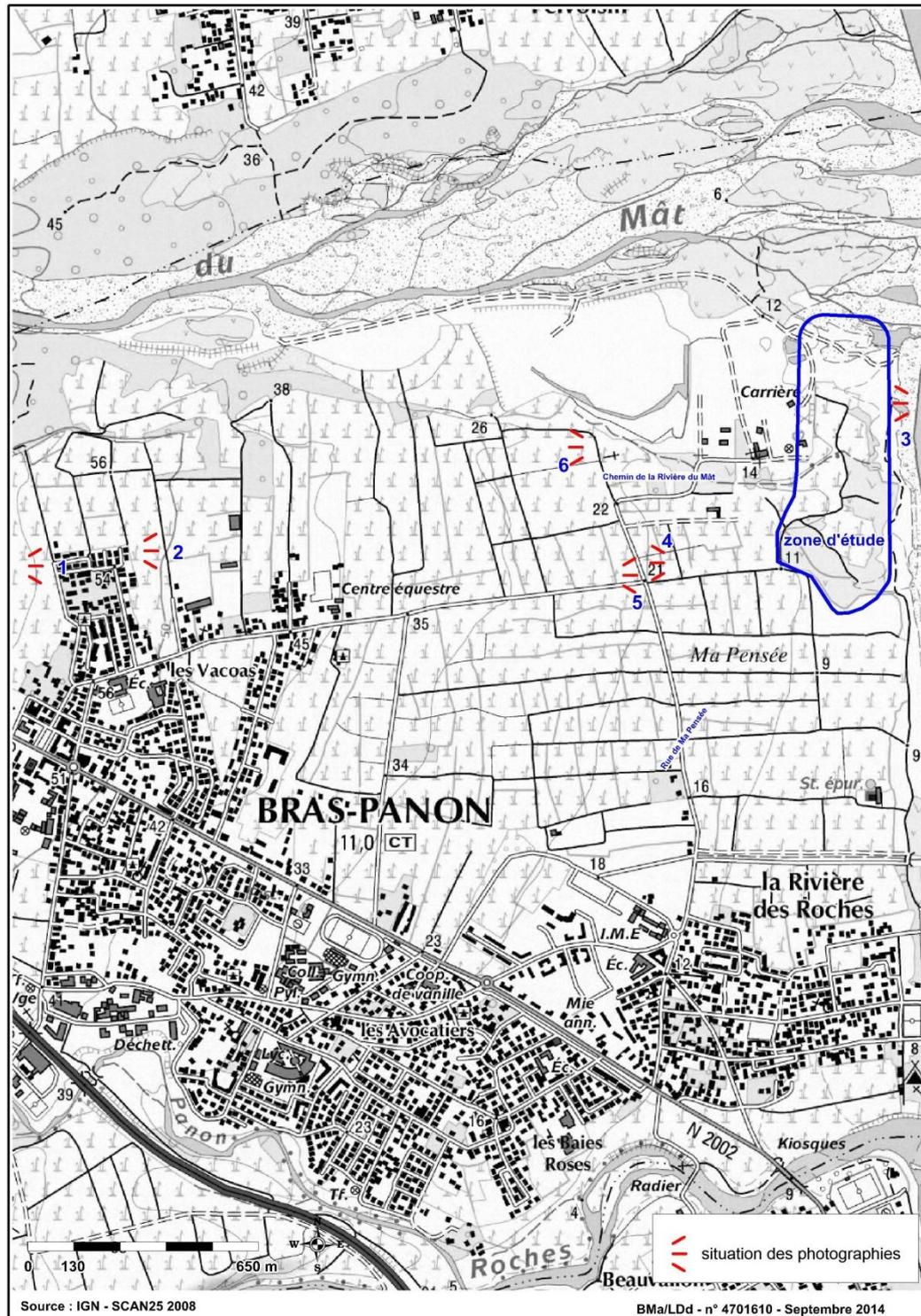
RAPPORT DÉFINITIF

2.3.2. Reconnaissance du site

2.3.2.1. RECONNAISSANCE INITIALE EN SEPTEMBRE 2014

La localisation des photographies relatives à cette reconnaissance sont reportées sur la figure suivante.

Fig. 11. Reconnaissance du site



Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

Le BV01 est délimité en amont par un fossé collecteur qui intercepte le bassin naturel amont et oriente les eaux de ruissellement hors de la zone d'étude, déconnectant la partie haute du bassin versant naturel.



Photo.-1. Fossé collecteur amont BV01

Les eaux des BV01 et BV02, transitent par la route pour rejoindre la zone d'étude. En amont et au droit de la zone d'étude, ces bassins versants sont peu marqués et ce sur toute la traversée du site, jusqu'à l'exutoire au niveau du littoral.



Photo.-2. Vue amont du BV 01



Photo.-3. Vue aval du BV 01

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

A l'ouest du site, la rue « Ma Pensée » délimite partiellement la zone d'étude.



Photo.-4. Vue du BV 02 amont depuis la Rue de Ma Pensée



Photo.-5. Vue du BV 02 aval depuis la Rue de Ma Pensée

La construction actuelle d'une piste sur la zone d'extension la carrière Holcim, qui traverse les bassins versants, peut avoir une incidence sur l'orientation des écoulements. Cette route est légèrement en déblais et est orientée vers la zone d'extraction de la carrière Holcim actuelle.

Le décaissement de la voie induit un merlon en aval limitant le transit des eaux vers la zone d'étude.



Photo.-6. Route traversant le BV01 et le BV02

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

2.3.2.2. RECONNAISSANCE SECONDAIRE EN MARS 2016

Une 2nde reconnaissance de terrain a été réalisée en mars 2016 pour confirmer le découpage des bassins versants.

Cette visite a ainsi pu confirmer que :

- Le Bras Coco est intercepté par les gravières HOLCIM, comme le montre la Photo.-7 page 25. Il est dévié vers les bassins de l'ancienne gravière au *nord* ;
- La partie *ouest* est délimitée par un merlon le long du chemin longeant l'extension de la carrière jusqu'au Bras Coco (Photo.-9) ;
- La partie *est* est délimitée par un merlon naturel sur la moitié *nord* (Photo.-10) et par un merlon en terre et galets sur la moitié *sud* (Photo.-8).

Ainsi, suivant les éléments précédents, **seuls les BV01F et BV02F sont à considérer** dans la suite de l'étude car l'exploitation de la carrière HOLCIM a commencé et a intercepté l'amont des BV01 et BV02.

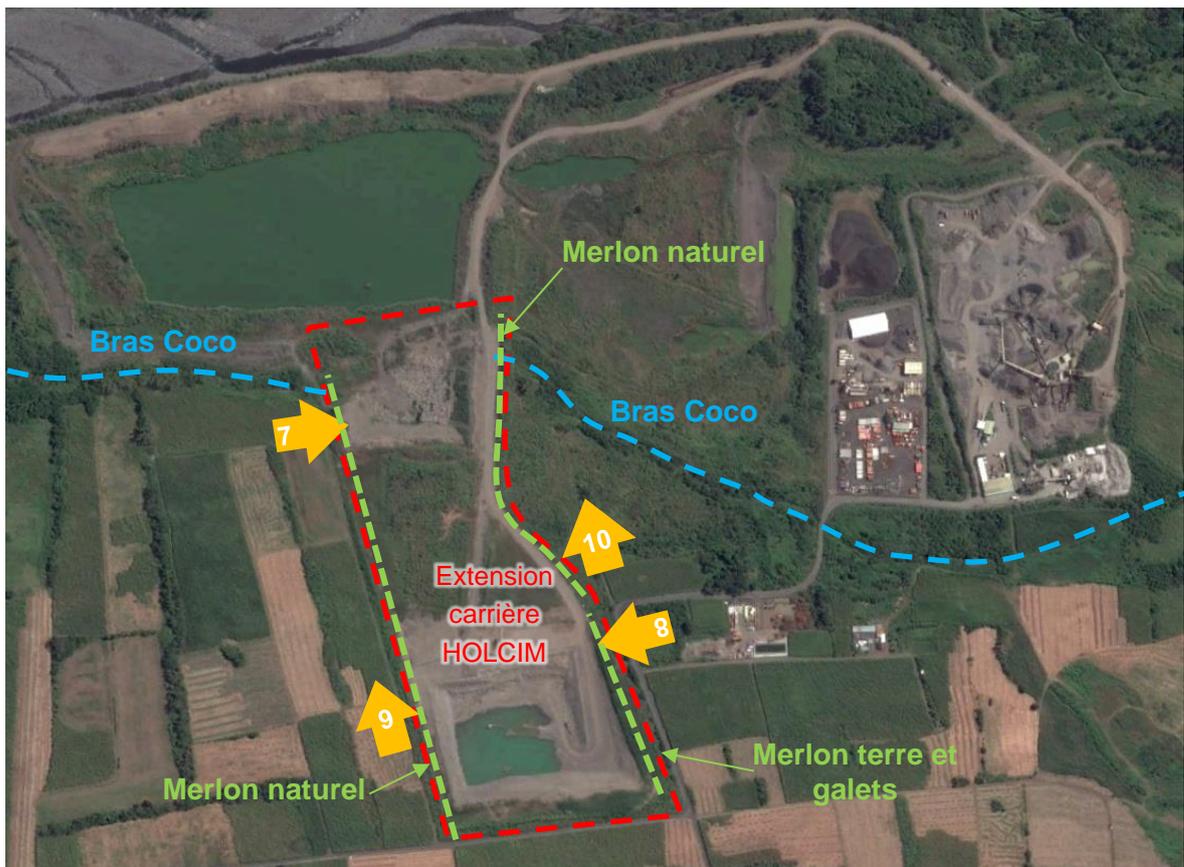


Fig. 12. Vue aérienne Google Earth du 09/09/2016

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

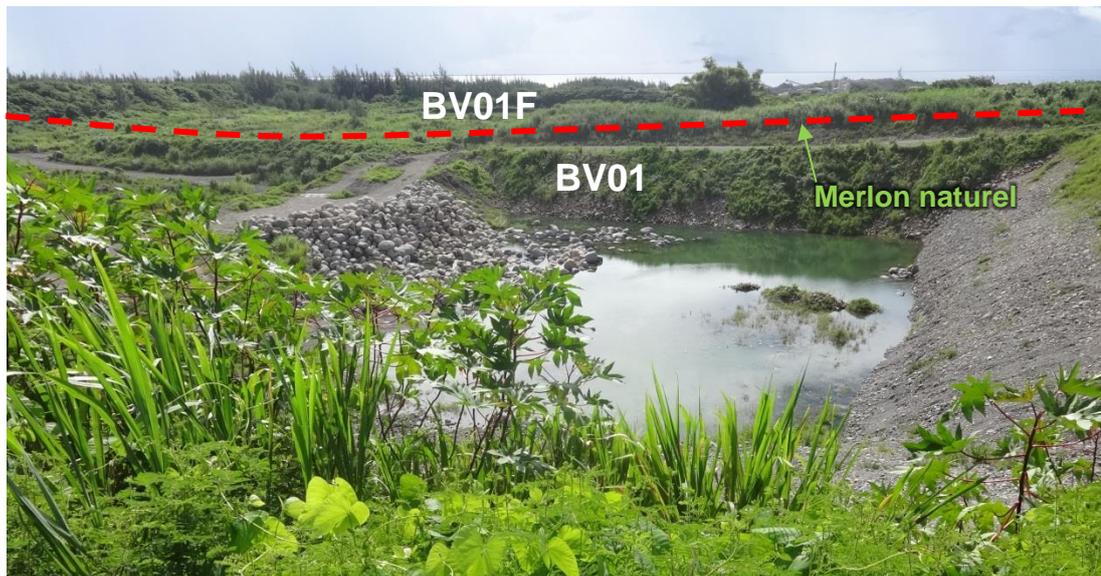


Photo.-7. Délimitation du BV01 et BV01F

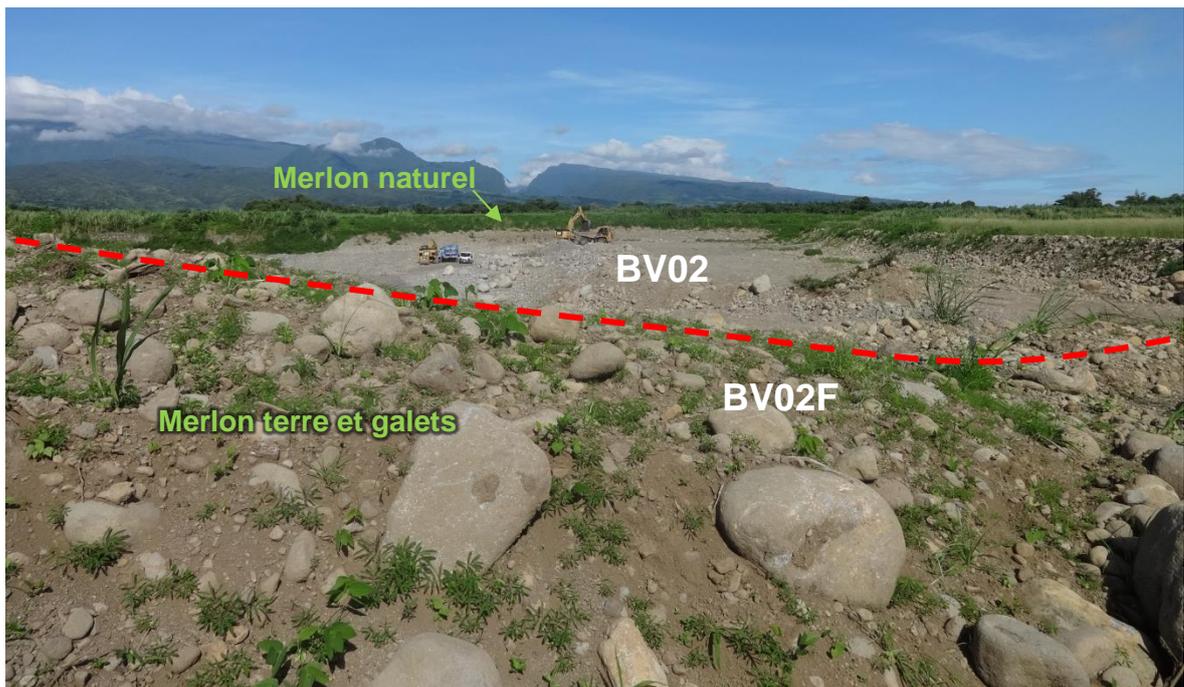


Photo.-8. Délimitation du BV02 et BV02F

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF



Photo.-9. Merlon naturel en bordure ouest de l'extension de la carrière HOLCIM



Photo.-10. Merlon naturel en bordure est de l'extension de la carrière HOLCIM

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

2.4. HYDROLOGIE

2.4.1. Caractéristiques des bassins versants

Les principales caractéristiques des bassins versants décrits ci-avant (cf. Fig. 10) sont les suivantes :

Tabl. 3 - Caractéristiques des bassins versants interférant avec la zone d'étude

Bassin versant	Surface (ha)	Altitude maxi (m NGR)	Altitude mini (m NGR)	PLPE** (m)	Pente moyenne (m/m)
Rivière du Mât	14 500	3 070	100	27 000	0.024
BV01	52.7	60	4,4	2 300	0.027
BV01F	16.4	23	4,4	720	0.026
BV02	37.8	55	4,8	1 950	0.03
BV02F	13.4	29	4,8	795	0.035
BV03	3.9	14	6,1	230	0.024
BV projet	8.8	8,2	4,3	230	0.05

** PLPE = Plus Long Parcours de l'Eau

2.4.2. Hypothèses pluviométriques

Les données météorologiques proviennent du guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, préconisé par la DEAL.

Selon ce guide, la parcelle de projet se situe dans la zone pluviométrique 2 ce qui permet de déterminer les coefficients de Montana à appliquer pour calculer les débits en crue décennale.

Tabl. 4 - Coefficients de Montana appliqués pour une crue décennale

Durée de la pluie < 2 heures	
Coefficient A	Coefficient B
72	0.33

Ces coefficients sont adaptés à la formule $i = at - b$ ou « i » (intensité de pluie maximale) est exprimée en mm/h et « t » (durée de la pluie) en h.

Pour les pluies différentes de la décennale, la formule suivante est appliquée :

$$i(d,T) = i_{(1h, 10ans)} \times [0.186 \times \text{LN}(T) + 0.572] \times d^{-0.33}$$

Où : « d » correspond à la durée de la pluie et « T » à la période de retour souhaitée.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

2.4.3. Détermination des débits

Au vu de la nature des bassins versants étudiés, notamment en termes de superficie et d'occupation du sol, la méthode rationnelle a été retenue pour la détermination des débits de crues.

$$Q = Ci A / 3,6$$

Où :

- Q = débit en m³/s ;
- C = coefficient de ruissellement du bassin versant ;
- i = intensité pluviométrique relative au temps de concentration du bassin, exprimée en mm/h ;
- A = superficie du bassin en km².

Tabl. 5 - Coefficients de ruissellement appliqué

Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Coefficient de ruissellement	0,30	0,40	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80

En fonction des caractéristiques des bassins versants précitées, les débits de crue retenus sont les suivants :

2.4.3.1. RESULTATS

En fonction des caractéristiques des bassins versants précitées, les débits de crue retenus sont les suivants :

Tabl. 6 - Estimation des débits de crues selon l'occurrence de l'évènement pluvieux

Bassins versants	Q ₂ (m³/s)	Q ₅ (m³/s)	Q ₁₀ (m³/s)	Q ₂₀ (m³/s)	Q ₁₀₀ (m³/s)
Rivière du Mât	496.6	911.5	1538.2	1926.4	3202.0
BV01	2.8	4.6	7.9	9.6	15.0
BV01F	1.1	1.7	3.0	3.7	5.7
BV02	2.1	3.5	6.0	7.3	11.4
BV02F	0.9	1.5	2.5	3.1	4.8
BV03	0.3	0.5	0.9	1.1	1.7
BV projet	0.7	1.1	2.0	2.4	3.7

Note : Q_x désigne le débit de pointe de période de retour X ans

L'analyse des débits pour la Rivière du Mât nous indique un débit spécifique de 10,6 m³/s/km² pour une crue décennale et de 22,1 m³/s/km² pour une crue centennale.

Ces débits spécifiques sont conformes à ceux déterminés dans le cadre de l'étude PPRI et seront donc retenus pour la suite des analyses.

2.5. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

2.5.1. Méthodologie

Les capacités d'évacuation des ouvrages et sections hydrauliques diverses sont déterminées par calculs hydrauliques simples à partir des données recueillies lors des reconnaissances de terrain (dimensions, hauteur avant surverse sur les voiries notamment) ou des éléments topographiques en notre possession.

Sur le site de Ma Pensée, aucun ouvrage hydraulique n'est présent actuellement. Les eaux s'écoulent simplement par ruissellement depuis l'amont des bassins versants vers la mer.

2.5.2. Conclusion de la phase du diagnostic

La figure Fig. 13 page 31 nous donne les principales indications quant au fonctionnement hydraulique de la zone d'étude pour l'état actuel.

L'analyse de l'état initial indique que :

- **Au regard de la gestion des eaux en amont du site :**
 - Selon la configuration d'exploitation envisagée, le **BV02F** peut ne pas interférer avec la zone d'exploitation et nécessiterait simplement des mesures de protection éventuelle, sous la forme d'un merlon par exemple, afin d'éviter un débordement vers la zone de projet ;
 - Les **BV01F et BV02F** amont peuvent, selon les contraintes inhérentes au foncier et au chantier, soit être déviés en bordure du site, soit transiter par la zone de projet ;
 - Le **BV03** peut être intégré dans la zone d'exploitation sans intervention ou contrainte lourde ;
- **Au regard de la gestion des eaux au niveau de la zone d'extraction :**
 - Les débits transitant par la zone de projet sont importants (de l'ordre de 13 à 25 m³/s en centennale et de 6 à 16 m³/s en décennale selon les choix effectués ou les hypothèses prise en compte en amont) et nécessitent obligatoirement d'être pris en compte dans la suite du projet soit en créant des ouvrages permettant l'évacuation de la totalité du débit centennal, soit en intégrant le risque inondation d'une partie des installations en phase exploitation pour une fréquence de retour donnée ;
 - En absence de plan de projet et d'exploitation à ce stade de l'étude, il est délicat d'énoncer des directives quant à la teneur des aménagements à mettre en œuvre. Quelques points sont cependant à intégrer dès maintenant :
 - Une hauteur de chute d'eau importante nécessitera des ouvrages de dissipation d'énergie conséquents en aval et augmentera le risque d'écoulements anarchiques ;
 - Toute descente d'eau le long du talus amont devra être validée par un géotechnicien afin de s'assurer de sa pérennité ;
- **Au regard de la gestion qualitative et quantitative des eaux :**
 - Compte tenu du débit généré par la surface du projet (2 m³/s en décennale pour l'état initial), une exploitation en casiers successifs permettrait de limiter la taille des ouvrages de traitements des eaux polluées ;
 - le positionnement des ouvrages de traitements des eaux polluées devra être réalisé en dehors de toutes zones inondables ;

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

- la séparation des eaux pluviales et des eaux polluées doit être réalisée afin de limiter la taille des ouvrages de traitements.

Afin d'approfondir la définition des ouvrages à mettre en place, il convient de préciser le mode d'exploitation choisi afin de définir pour chaque étape de l'exploitation du site, le dimensionnement et le positionnement des ouvrages de transfert des eaux, de traitement de la pollution avant rejet, de limitation des débits, de protection contre les crues...

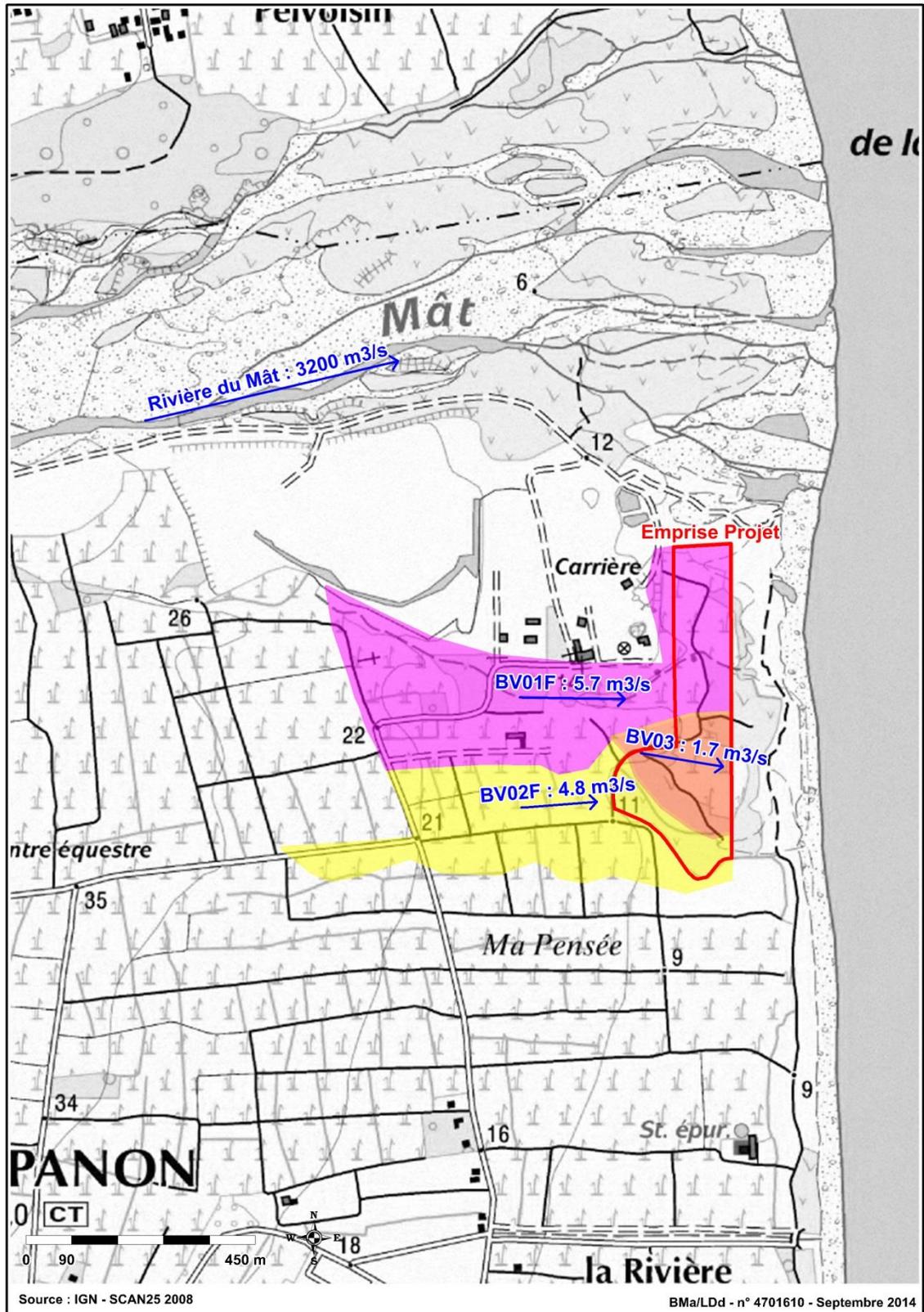
Les points de rejets devront aussi être analysés précisément, la proximité de l'océan et la présence du cordon littoral rendant délicate un rejet direct via un nouvel exutoire.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

Fig. 13. Fonctionnement hydraulique état actuel



3. GESTIONS DES EAUX DE RUISSELLEMENT

Dans la suite de l'étude, le détail des propositions d'aménagements est établi en fonction des principales étapes d'évolution du projet à savoir :

- Etape d'exploitation à un an et demi – phase 1 – *nord* du site ;
- Etape d'exploitation à trois ans – phase 2 – interception des eaux du BV01F ;
- Etape d'exploitation à 5 ans – phase 3 ;
- Etape d'exploitation à 7 ans – phase 4 ;
- Etape d'exploitation à 8,5 ans – phase 5 ;
- Etape d'exploitation à 10 ans – phase 6 – interception des eaux du BV02F ;
- Etat final réaménagé à 12 ans – phase 7.

A noter que la fosse d'extraction est glissante du *nord* au *sud* tout au long de l'exploitation de la carrière à surface globalement constante. Seule la progression de la phase 6 se fait d'*est* en *ouest*. Les plans d'aménagements correspondant à ces diverses étapes sont joints en Annexe 1 du présent rapport et localisés sur la Fig. 14 en page suivante.

La mise en place des aménagements hydrauliques suivra ce phasage afin de :

- Protéger les personnes et les biens au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation du site ;
- Réduire et optimiser le dimensionnement et le coût des aménagements à mettre en œuvre.

La zone d'extraction est située en bordure du littoral. La dynamique des courants et de la houle au niveau de la côte *est* de l'île crée un cordon littoral entre ce dernier et la zone d'extraction. Ce cordon (composé de galet et de sable) est très sensible et rend délicat voire impossible la mise en œuvre d'une ouverture artificielle pérenne.

Compte tenu de cet état de fait, nous avons opté pour une préservation des points de rejet actuels des différents BV interférant avec la zone de projet. Ainsi, les points suivants sont adoptés pour la gestion du pluvial :

- La conservation des points de rejet existant vers le cordon littoral ;
- Un transit des écoulements à travers la carrière sans déviation préalable (sauf dans les phases 2 et 6 où les thalwegs principaux transitent par la fosse d'exploitation) ;
- Un remodelage à l'identique du site après exploitation et notamment les thalwegs existants.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

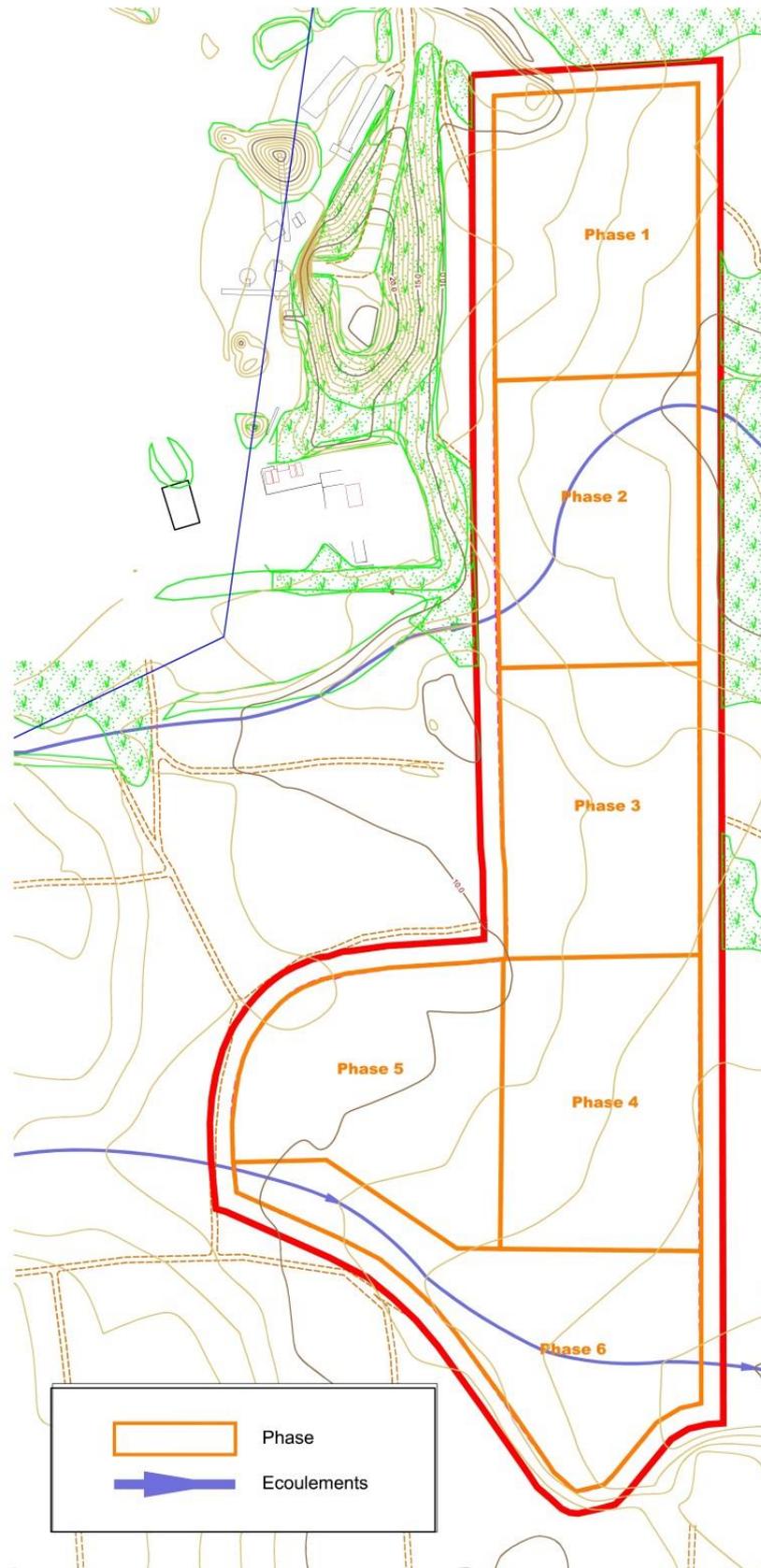


Fig. 14. Phasage de la carrière

3.1. INONDABILITÉ DE LA FOSSE D'EXTRACTION

3.1.1. Pluviométrie

D'après l'Atlas climatique de la Réunion de Météo France, la répartition annuelle des jours secs et pluvieux pour la station de Beauvallon à 16 m d'altitude est de :

- 192 jours très faiblement pluvieux (jour avec précipitations inférieurs à 1mm) ;
- 78 jours faiblement pluvieux (jour avec précipitations comprises entre 1 et 10 mm) ;
- 15 jours pluvieux (jour avec précipitations comprises entre 10 et 50 mm) ;
- 5 jours très pluvieux (jour avec précipitations supérieures ou égales à 50 mm).

Tabl. 7 - Normales mensuelles et annuelles de précipitations

Précipitations mensuelles et annuelles moyennes (en mm)													Nb moyen de jours avec des pluies dépassant certains seuils				
Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année	1 mm	10 mm	50 mm	100 mm	Jours secs
436	605	442	369	242	181	185	141	136	123	154	313	3328	192	78	15	5	173

On peut également noter pour la station de Beauvallon :

- Des précipitations quotidiennes records de 730 mm le 14/02/1993 ;
- Des cumuls de pluies d'une durée de retour de 10 ans sur 1 journée climatologique (de 7h à 7h J+1) de 325 mm.

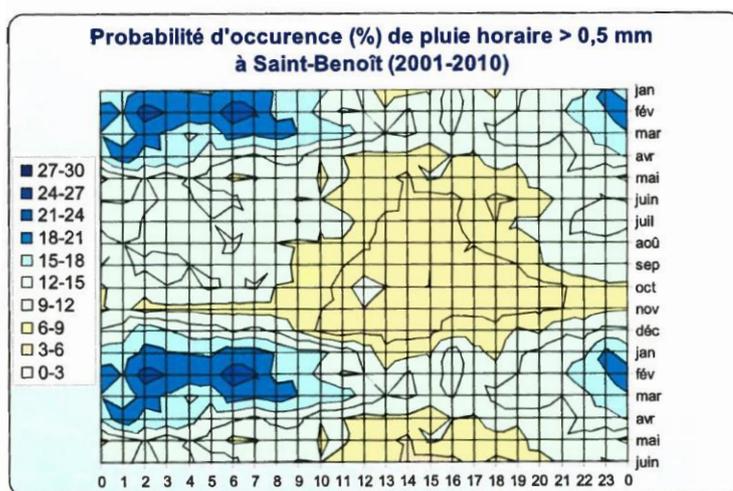


Fig. 15. Probabilité de pluie à Saint-Benoît (source : Atlas climatique de la Réunion – Météo France)

Cette figure met en évidence que la probabilité d'occurrence est plus élevée de décembre à mai de manière nocturne entre 22h et 9h.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

3.1.2. Détermination du débit de fuite de la nappe

Pour rappel de l'étude hydrogéologique, réalisée par Artelia (N° 8 41 0444, Octobre 2014), les 2 points d'accès à la nappe superficielle disponibles au droit et à proximité du site du projet sont le piézomètre P19A (12273X0069/P19A, implanté en même temps que le forage P19, à quelques mètres de ce dernier) et le forage S2 (12273X0016/S2) à l'ouest du projet d'exploitation et qui appartient au réseau de surveillance piézométrique de l'Office de l'Eau. Le forage P19 quant à lui capte l'aquifère profond. Ces trois ouvrages sont localisés sur la carte ci-après.

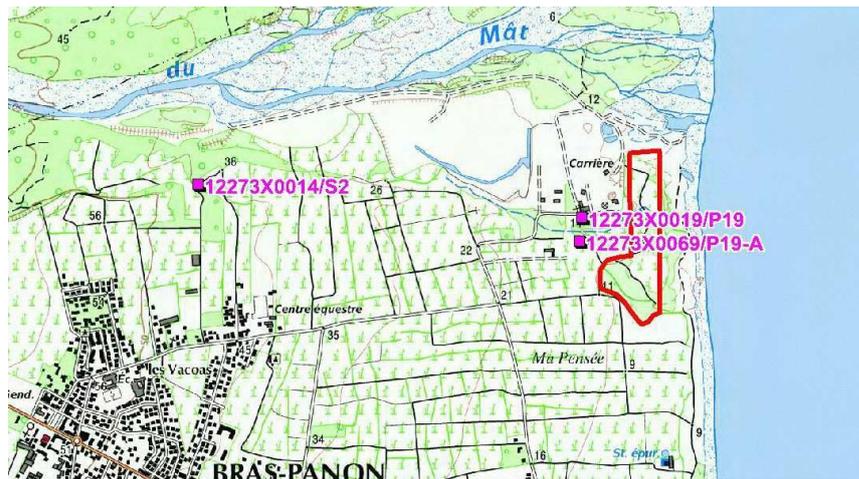


Fig. 16. Carte de localisation des ouvrages avec données piézométriques disponibles (aquifères superficiel et profond)

Remarque : la densité des points de mesure disponibles ne permet pas de préciser les directions d'écoulements de la nappe superficielle au droit du projet. Pour la suite de l'étude, ce sont les directions d'écoulements données par la carte piézométrique régionale présentée plus haut qui seront prises en compte.

Les données disponibles au droit du forage P19 pour l'aquifère profond sont très succinctes (quelques mesures entre 1994 et début 1995) et donnent un niveau piézométrique moyen de l'ordre 4.7 m NGR. Le piézomètre P19A qui capte l'aquifère superficiel a été suivi ponctuellement de 1994 à 1997 et donne par conséquent des informations intéressantes sur le niveau de cette nappe à proximité immédiate du projet d'exploitation.

Il n'existe aucune information à ce jour sur la productivité de l'aquifère superficiel au droit du site au sens strict. Les données disponibles dans le cadre de la réalisation du forage S2 font état d'un essai de pompage mené dans l'aquifère superficiel (pompage de l'ordre de 200 m³/h pendant 24 heures). **La transmissivité de l'aquifère dans ce secteur est estimée à 3.3 10⁻² m²/s, soit un aquifère très productif.**

Par ailleurs, les données disponibles pour le forage P19 témoignent de la présence de formations géologiques alluviales profondes qui constituent un aquifère d'excellente qualité hydrodynamique². La perméabilité K de l'aquifère superficiel est ainsi supérieure à 10⁻⁴ m/s.

Le débit de fuite s'obtient ensuite par la formule suivante :

$$Q_{fuite} = K * S_{fond fosse extraction}$$

² Suite aux pompages d'essais réalisés sur l'ouvrage la transmissivité de l'aquifère profond est évaluée à environ 9,5.10⁻² m²/s

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

3.1.3. Détermination des volumes de crues

Les données pluviométriques recensées dans le paragraphe 3.1.1 servent de base de calcul pour la détermination des volumes de crues mais constituent un apport d'eau brut non représentatif de la réalité. L'évaporation n'est par exemple pas prise en compte.

Le projet consistant à extraire des matériaux dans une fosse, cette dernière constituera de manière naturelle le bassin de récupération des eaux pluviales. Cette fosse, au vu des plans fournis par ATDx, est à considérer selon 6 phases. A noter que la fosse sera glissante et aura donc sensiblement les mêmes dimensions dans toutes les phases.

3.1.3.1. HORS BV AMONT

Cette partie s'accorde à déterminer l'augmentation du niveau dans la fosse d'extraction en cas de pluies sans prendre en compte des apports issus des BV amont (BV01F et BV02F)

En considérant un TN au plus bas à 6 mNGR en limite Est de la zone d'extraction, le volume approximatif de la fosse d'extraction disponible pour le stockage des ruissellements pluviaux est de l'ordre de :

- 21 000 m³ si le niveau de nappe est moyen, soit un stockage sur 3 m entre les cotes 3 et 6 mNGR ;
- 14 000 m³ si le niveau de nappe est maximal, soit un stockage sur 2 m entre les cotes 4 et 6 mNGR.

On considère lors de cette phase que la fosse présente une surface de 7 000 m² et un volume minimum de 14 000 m³ au-dessus de la nappe. Ce volume est susceptible de stocker les eaux pluviales. Au regard de la perméabilité définie dans la partie 3.1.2 et étant donné la surface du fond de la fosse, **le débit de fuite est de 700 l/s.**

Les précipitations de 50 mm représentent un volume de **350 m³** à l'échelle de la fosse de 7 000 m² soit une **augmentation de 5 cm du niveau d'eau.**

Les précipitations de 100 mm représentent, à l'échelle de la fosse, un volume de **700 m³** soit une **augmentation de 10 cm du niveau d'eau.**

Une pluie d'une durée 24h de 325 mm correspondant à une période de retour de 10 ans constituera un volume d'eau de **2 275 m³** à l'échelle de la fosse soit une **augmentation d'environ 33 cm du niveau d'eau.**

Tabl. 8 - Tableau récapitulatif des temps de vidange de la fosse

Précipitation (mm)	Apport d'eau (m ³)	ΔH nappe (cm)	Temps de vidange*
50 mm	300	+5	≈7min
100 mm	700	+10	≈17min
325 mm	2 275	+33	≈54min
Fosse pleine	14 000	+2m	≈5,5h
	21 000	+3m	≈8,3h

*Temps de vidange optimal hors colmatage

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

3.1.3.2. AVEC APPORTS BV AMONT

L'extension de la carrière HOLCIM étant en cours de réalisation, nous considérerons pour la suite de l'étude, les BV01F et BV02F définis sur la Fig. 10 page 20 et repris dans la figure page suivante.

Suivant la phase considérée, la fosse pourra ou non être sujette à des apports d'eaux issus des bassins versants amont. Ainsi lors des phases 2 et 6, la fosse interceptera respectivement les eaux du BV01F et du BV02F.

On considère qu'une précipitation d'une durée de 24h en dessous de 10 mm n'aura aucune influence sur le niveau d'eau dans la fosse d'extraction du fait de la bonne perméabilité des alluvions qui permettent la diffusion rapide de l'eau de précipitation dans la nappe.

Les précipitations entre 10 et 50 mm commenceront à avoir une influence quant au stockage de ces eaux. A titre d'exemple, une pluie de 50 mm sur 24h correspond en réalité à un apport d'eau d'environ 40 mm.

Pour le BV01F dont la superficie est de 16,4 ha à l'état naturel :

Tabl. 9 - Tableau récapitulatif des temps de vidange de la fosse

Précipitation (mm)	Apport d'eau du BV01F (m ³)	Apport d'eau total dans la fosse (m ³)	ΔH nappe	Temps de vidange* (h)
50 mm	6 560	6 860	98cm	≈2,7
100 mm	14 760	15 460	2,2m	≈6,1
325 mm	51 660	53 935	Débordement	

*Temps de vidange optimal hors colmatage

Pour le BV02F dont la superficie est de 13,4 ha à l'état naturel :

Tabl. 10 - Tableau récapitulatif des temps de vidange de la fosse

Précipitation (mm)	Apport d'eau du BV02F (m ³)	Apport d'eau total dans la fosse (m ³)	ΔH nappe	Temps de vidange* (h)
50 mm	5 360	5 660	77cm	≈2,2
100 mm	12 060	12 760	1,8m	≈5
325 mm	42 210	44 485	Débordement	

*Temps de vidange optimal hors colmatage

Le volume disponible dans la fosse étant à minima de 14 000 m³ et à maxima à 21 000 m³, il y aura un débordement de la fosse vers le milieu naturel. Afin de maîtriser ces débordements, il sera donc nécessaire de mettre en place des aménagements spécifiques en amont et aval de la fosse.

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

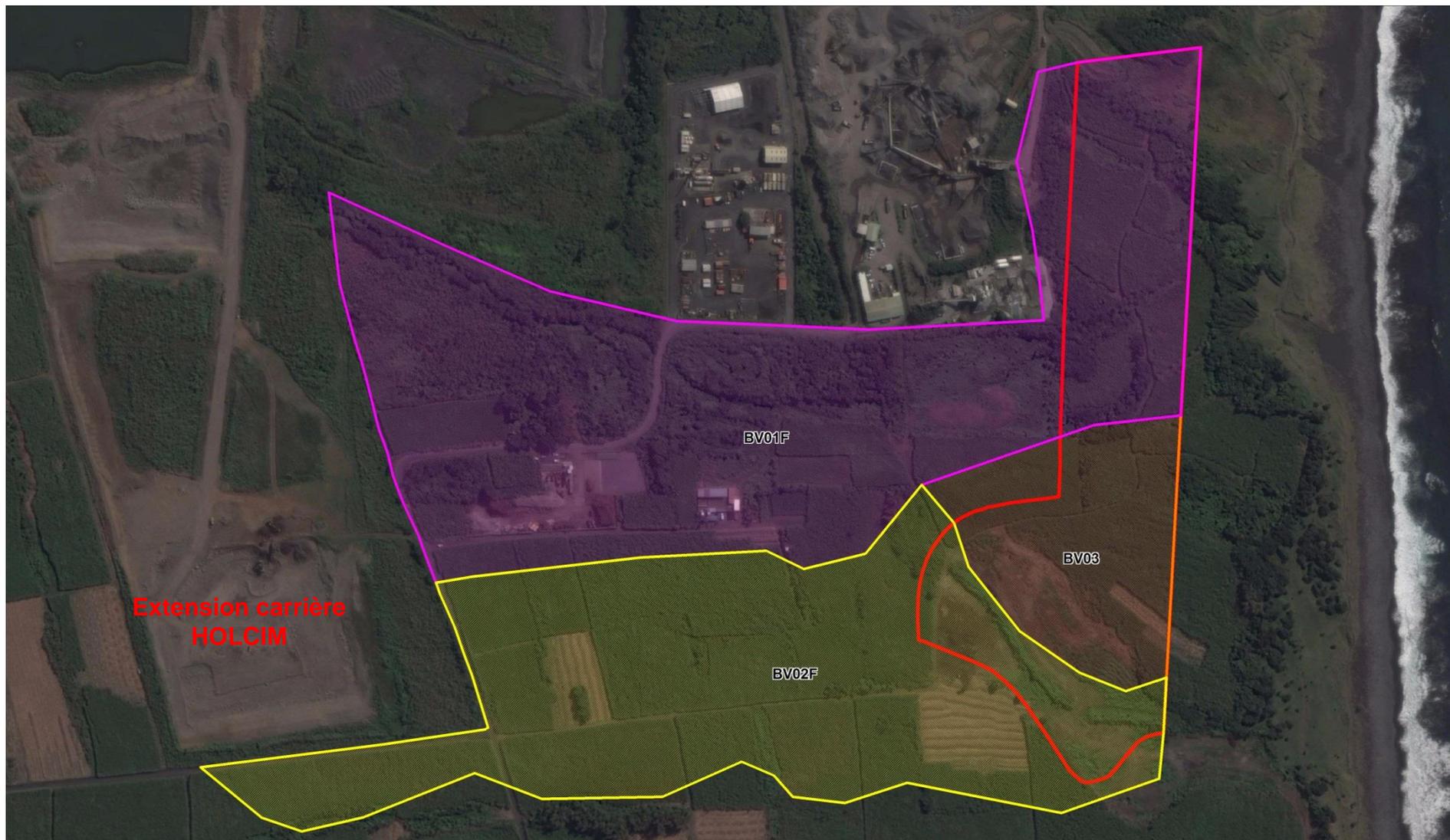


Fig. 17. Découpage des bassins versants

3.2. PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENTS

3.2.1. Protection de la fosse des apports d'eaux des BV amont

Dans le cas des phases 2 et 6, la fosse interceptera respectivement les eaux du BV01F et du BV02F. Etant donné les volumes de crues provenant de ces BV et comme évoqué dans la partie précédente, une protection est à prévoir à l'entrée et à la sortie de la fosse d'extraction pour empêcher de déstabiliser les talus de la fosse.

Tabl. 11 - Estimation des débits de crues selon l'occurrence de l'évènement pluvieux

Bassins versants	Q ₂ (m ³ /s)	Q ₅ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
BV01F	1.1	1.7	3.0	3.7	5.7
BV02F	0.9	1.5	2.5	3.1	4.8

Cette protection pourra se matérialiser par la mise en place de matelas en gabions ou d'enrochements libres pour casser la vitesse des écoulements et stabiliser les talus.

Dans l'optique de conserver le plus possible la topographie et la morphologie du site, la mise en place d'une protection minérale en sortie de fosse parait adéquate. Ainsi les thalwegs marqués déjà présent joueront le rôle de déversoir naturel de la fosse vers le milieu naturel.

Le schéma de principe suivant présente cet ouvrage. La localisation de ces ouvrages de protection est figurée en plan sur les plans des phases 2 et 6 joints en Annexe 1.

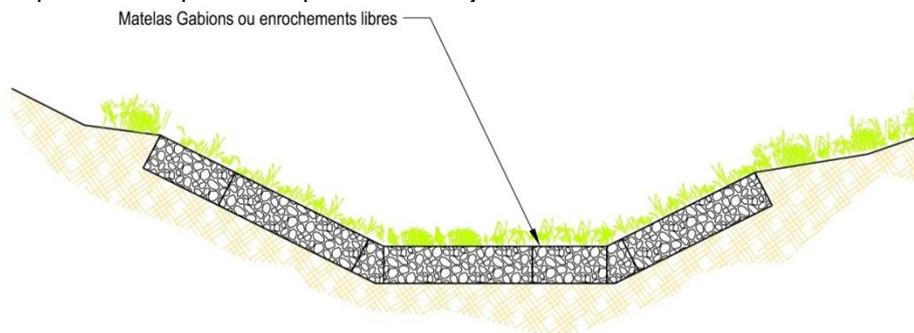


Fig. 18. Coupe transversale type de l'ouvrage en entrée et en sortie de la fosse d'extraction

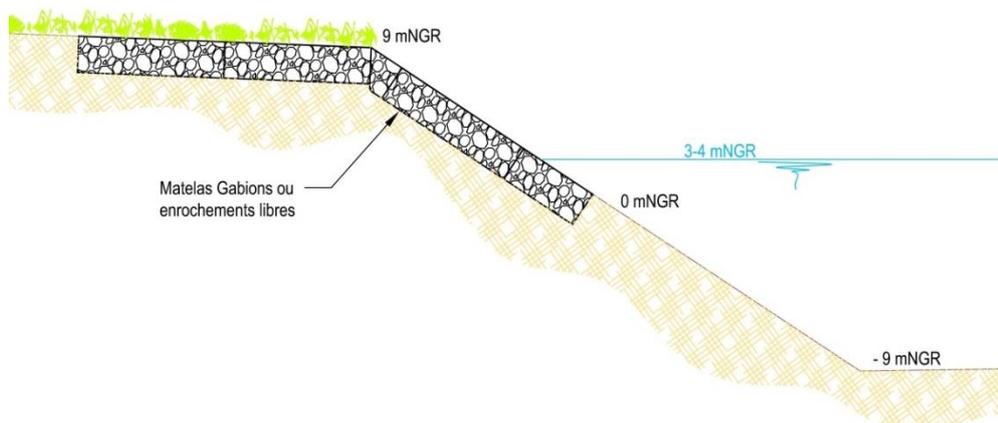


Fig. 19. Coupe longitudinale type de l'ouvrage en entrée et en sortie de la fosse d'extraction

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée
RAPPORT DÉFINITIF

3.2.2. Ouvrage de franchissement de la piste d'accès

L'entrée de la carrière se faisant par le *sud-ouest* de la zone d'étude, il est nécessaire de mettre en place un ouvrage de franchissement du thalweg du BV02F sur la totalité de l'exploitation de la carrière.

De la même manière, un ouvrage de franchissement du thalweg du BV01F devra être mis en place pour les 2 premières phases d'exploitation.

Ces ouvrages sont localisés sur la figure en page suivante (cf. Fig. 21).

Tabl. 12 - Dimensionnement des ouvrages hydrauliques de franchissement

Bassins versants	Crue de dimensionnement	Débit associé (m³/s)	Type d'ouvrage	Pente	Capacité (m³/s)
BV01F	10 ans	3.0	2 buses Ø800	2,7%	3.4
BV02F	30 ans	3.6	2 buses Ø800	3%	3.6

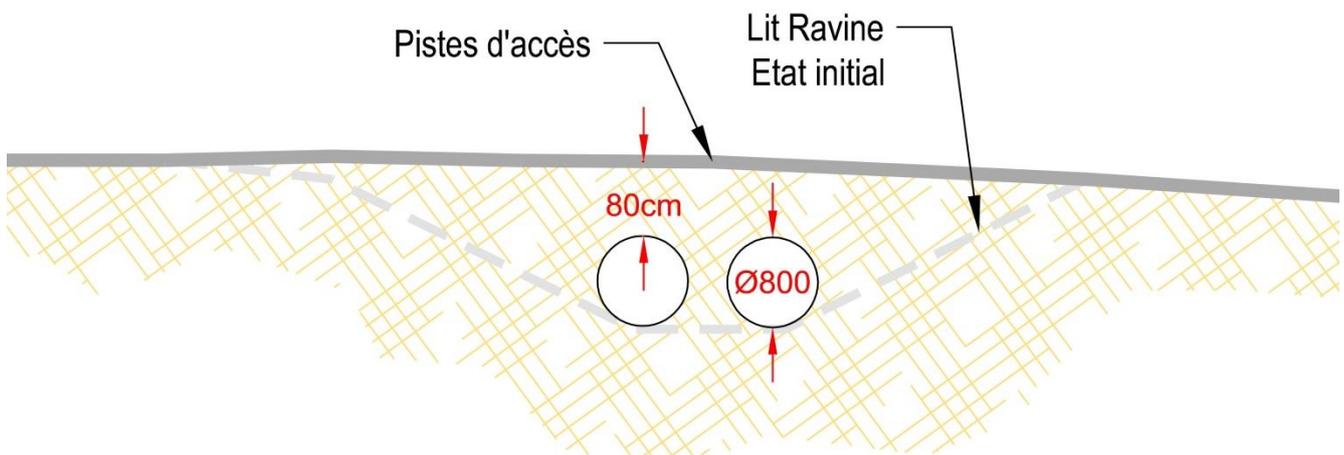


Fig. 20. Coupe type du franchissement busé

3.2.3. Ouvrages de gestion des eaux du stock de stériles

Pour les phases 1 à 3 où il ne paraît pas judicieux de rejeter les eaux du stock vers la fosse d'extraction (distance trop importante), un bassin d'orage et de décantation sera mis en place afin de limiter les rejets et MES vers le milieu naturel.

Dans la mesure du possible, les eaux de ruissellement issues du stock de remblai seront rejetées dans la fosse d'extraction, cette dernière jouant naturellement le rôle de bassin de rétention et de décantation des eaux.

La mise en place d'un fossé enherbé autour du stock permettra à la fois de collecter, de diriger les eaux et de réaliser une décantation des MES et pollutions pour les pluies à faible période de retour (1 à 2 ans). D'après les études effectuées depuis 1992 par le SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes), les taux d'abattement de ce type d'ouvrages sont les suivants :

Tabl. 13 - Taux d'abattement des fossés enherbés (pour 80m de longueur minimum)

	MES	DCO	Cu, Cd, Zn	Hc, Hap
Fossé enherbé	65%	50%	65%	50%

Etude hydraulique dans le cadre d'un volet eau ICPE relatif à une carrière

Site de Ma Pensée

RAPPORT DÉFINITIF

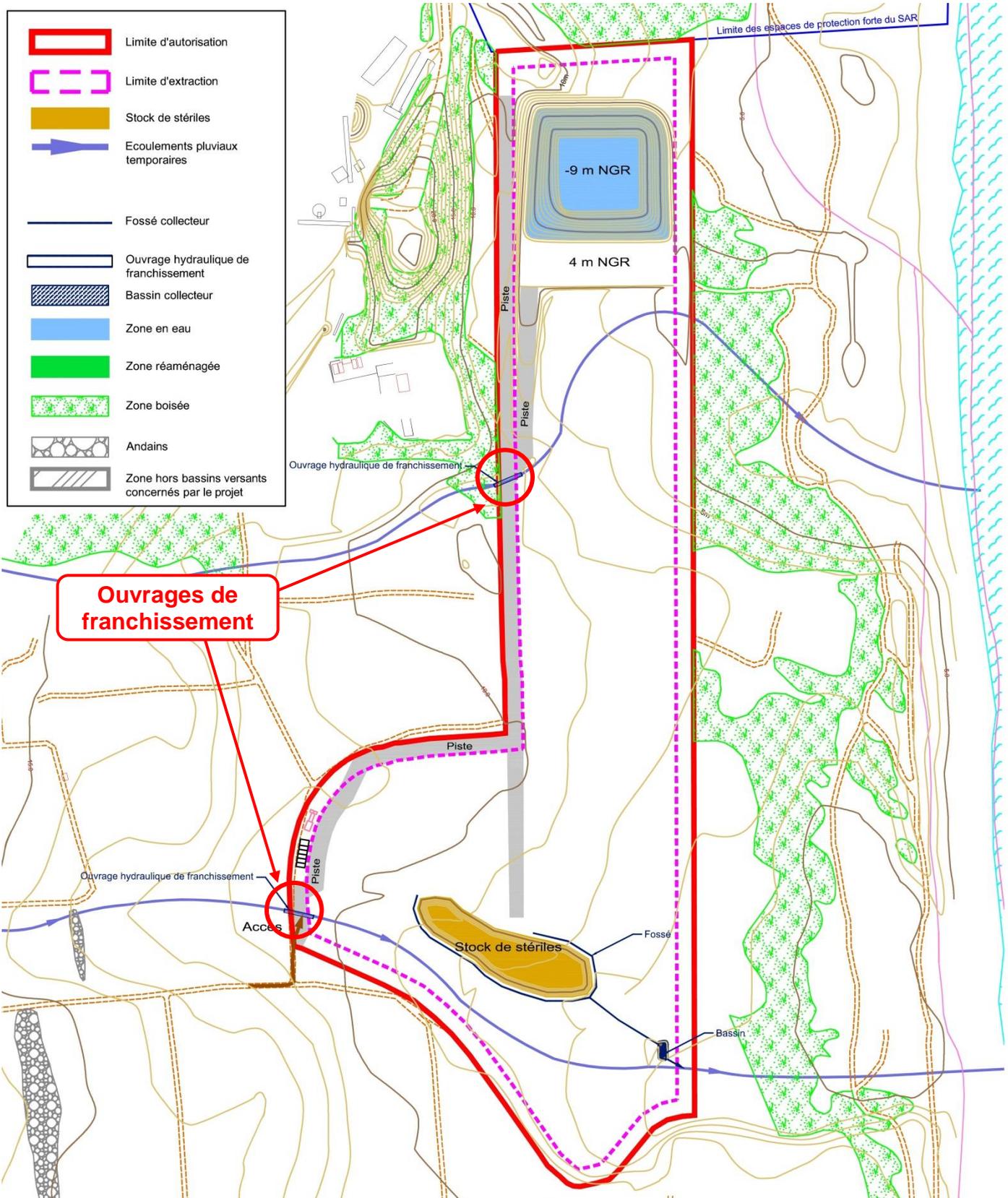


Fig. 21. Localisation des ouvrages de franchissement

ANNEXE 1

PLANS DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

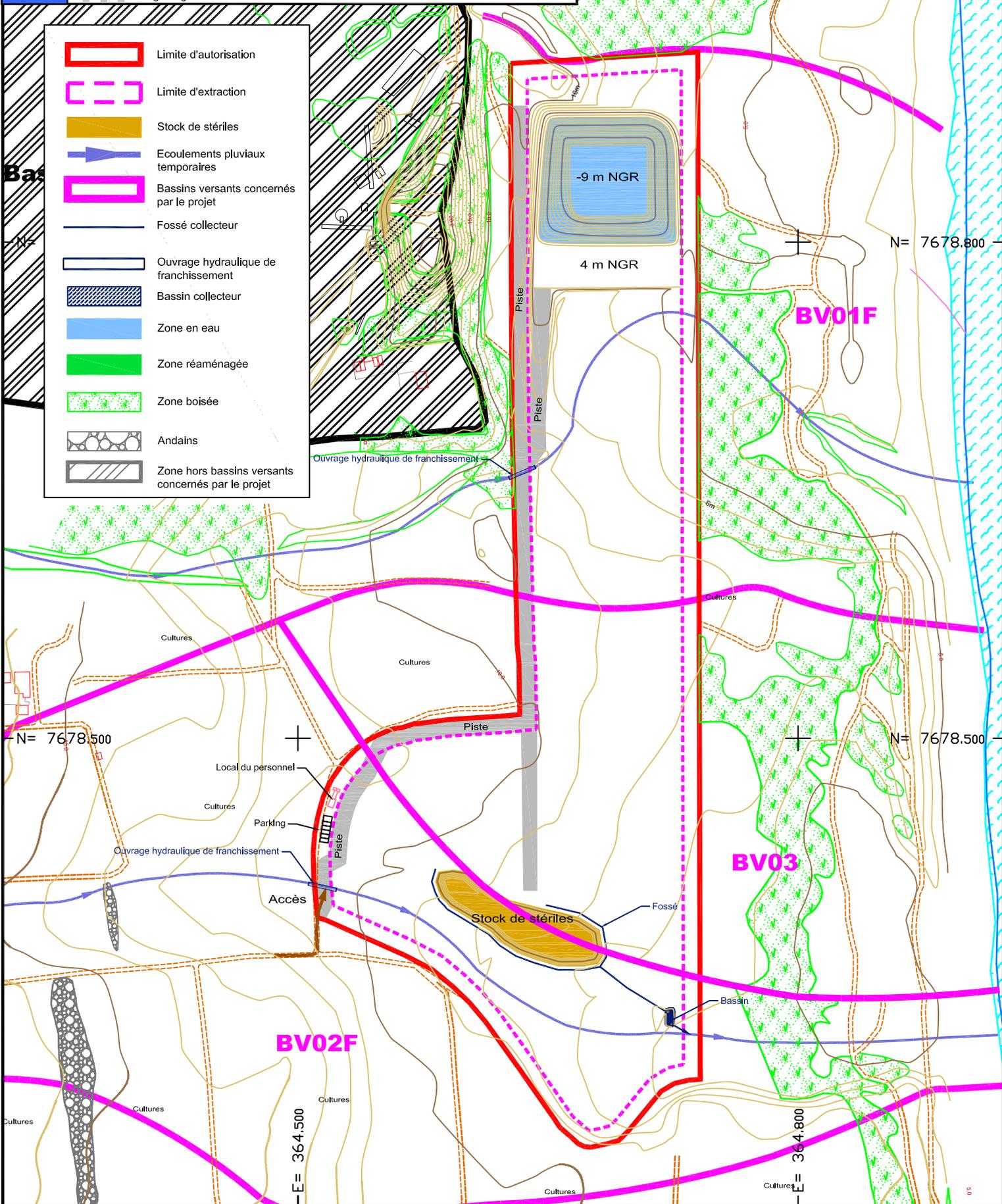
PHASE D'EXPLOITATION 1 : Situation à 1,5 ans

ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
16_02_15_Phasing.dwg

15 février 2016

E= 364.800



PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

PHASE D'EXPLOITATION 2 : Situation à 3 ans

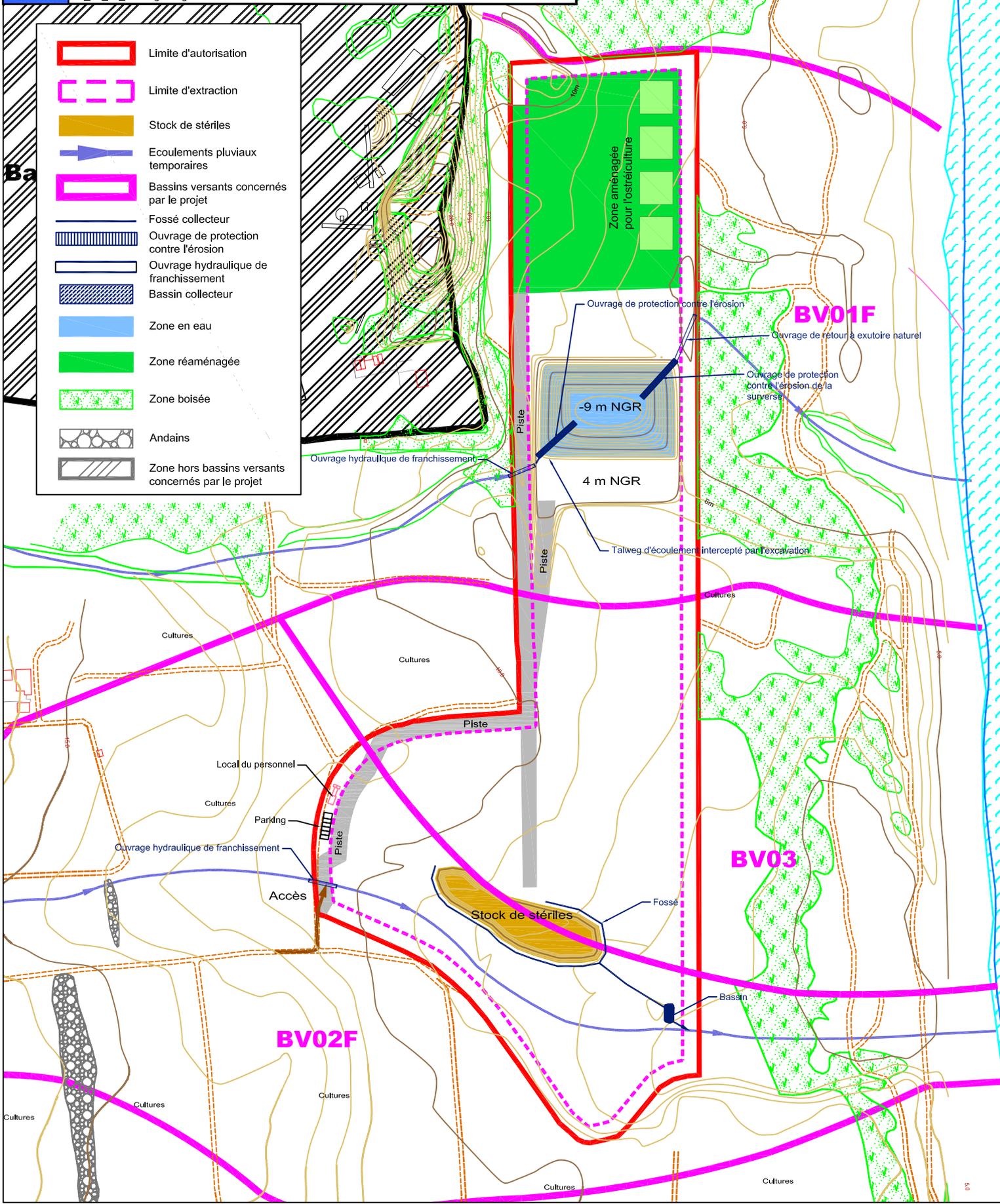
ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
 16_02_15_Phasing.dwg

22 mars 2016



	Limite d'autorisation
	Limite d'extraction
	Stock de stériles
	Écoulements pluviaux temporaires
	Bassins versants concernés par le projet
	Fossé collecteur
	Ouvrage de protection contre l'érosion
	Ouvrage hydraulique de franchissement
	Bassin collecteur
	Zone en eau
	Zone réaménagée
	Zone boisée
	Andains
	Zone hors bassins versants concernés par le projet



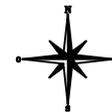
PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

PHASE D'EXPLOITATION 3 : Situation à 5 ans

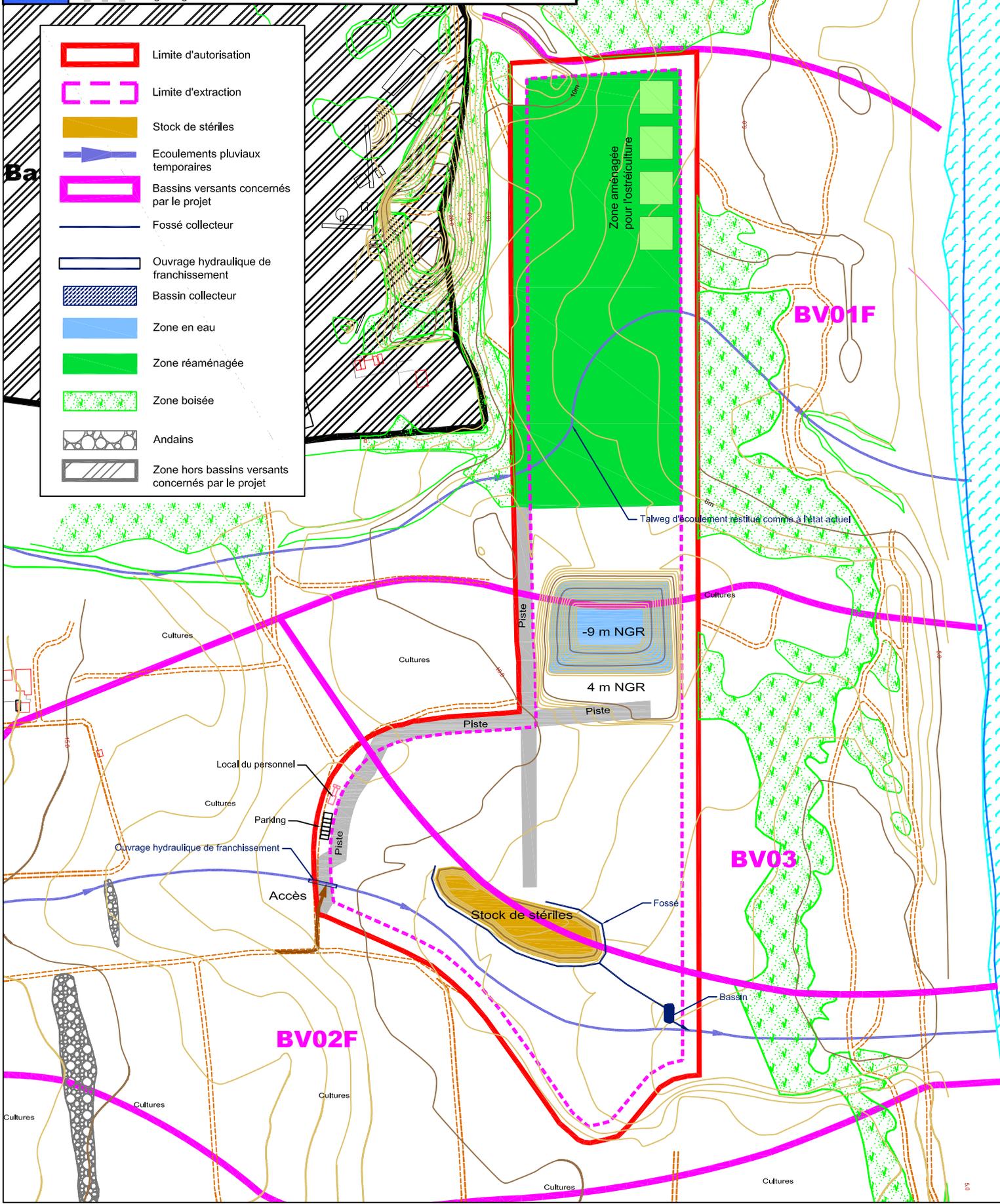
ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
16_02_15_Phase.dwg

15 février 2016



- Limite d'autorisation
- Limite d'extraction
- Stock de stériles
- Ecoulements pluviaux temporaires
- Bassins versants concernés par le projet
- Fossé collecteur
- Ouvrage hydraulique de franchissement
- Bassin collecteur
- Zone en eau
- Zone réaménagée
- Zone boisée
- Andains
- Zone hors bassins versants concernés par le projet



PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

PHASE D'EXPLOITATION 4 : Situation à 7 ans

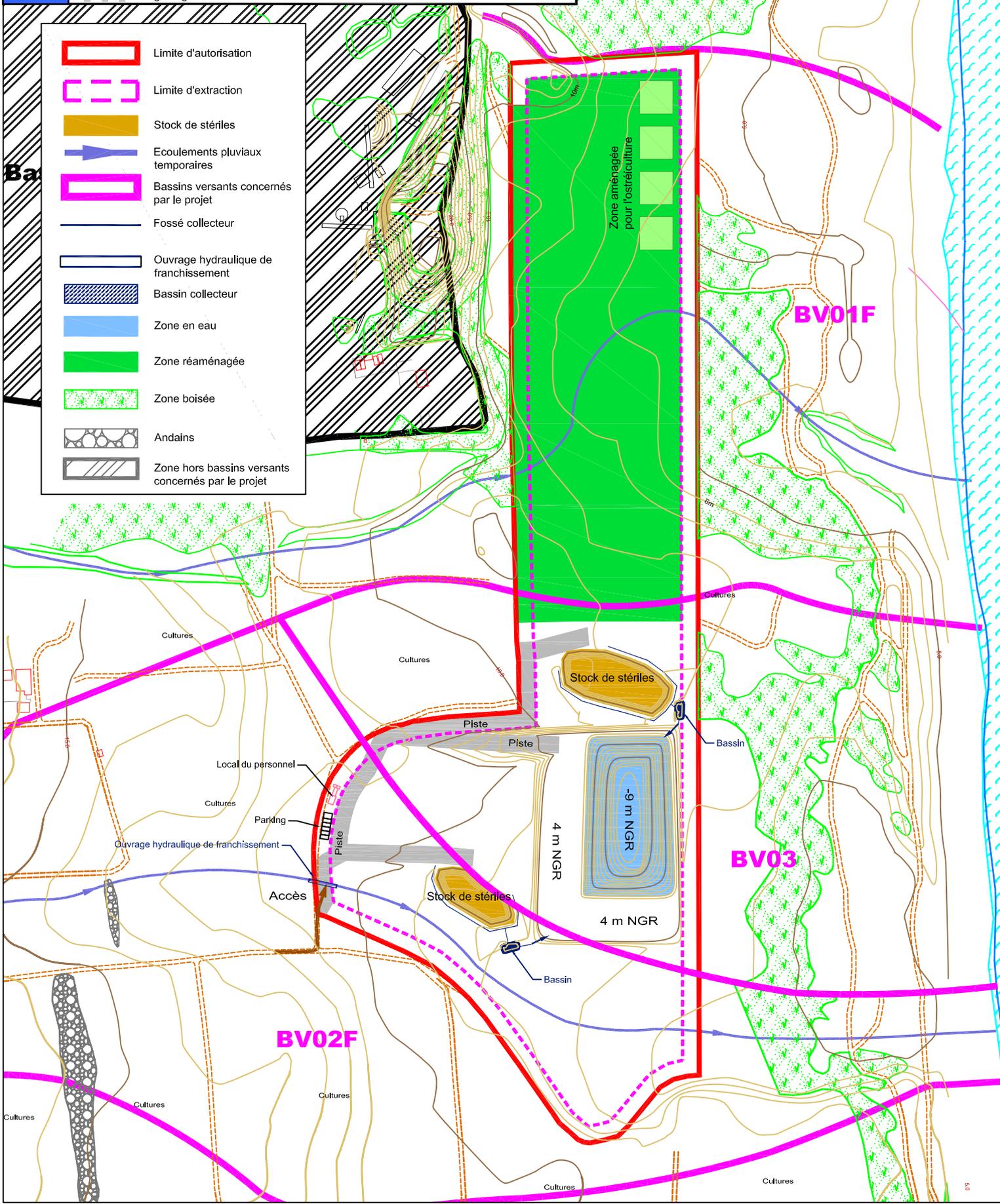
ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
16_02_15_Phasing.dwg

15 février 2016



	Limite d'autorisation
	Limite d'extraction
	Stock de stériles
	Ecoulements pluviaux temporaires
	Bassins versants concernés par le projet
	Fossé collecteur
	Ouvrage hydraulique de franchissement
	Bassin collecteur
	Zone en eau
	Zone réaménagée
	Zone boisée
	Andains
	Zone hors bassins versants concernés par le projet



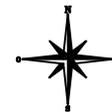
PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

PHASE D'EXPLOITATION 5 : Situation à 8,5 ans

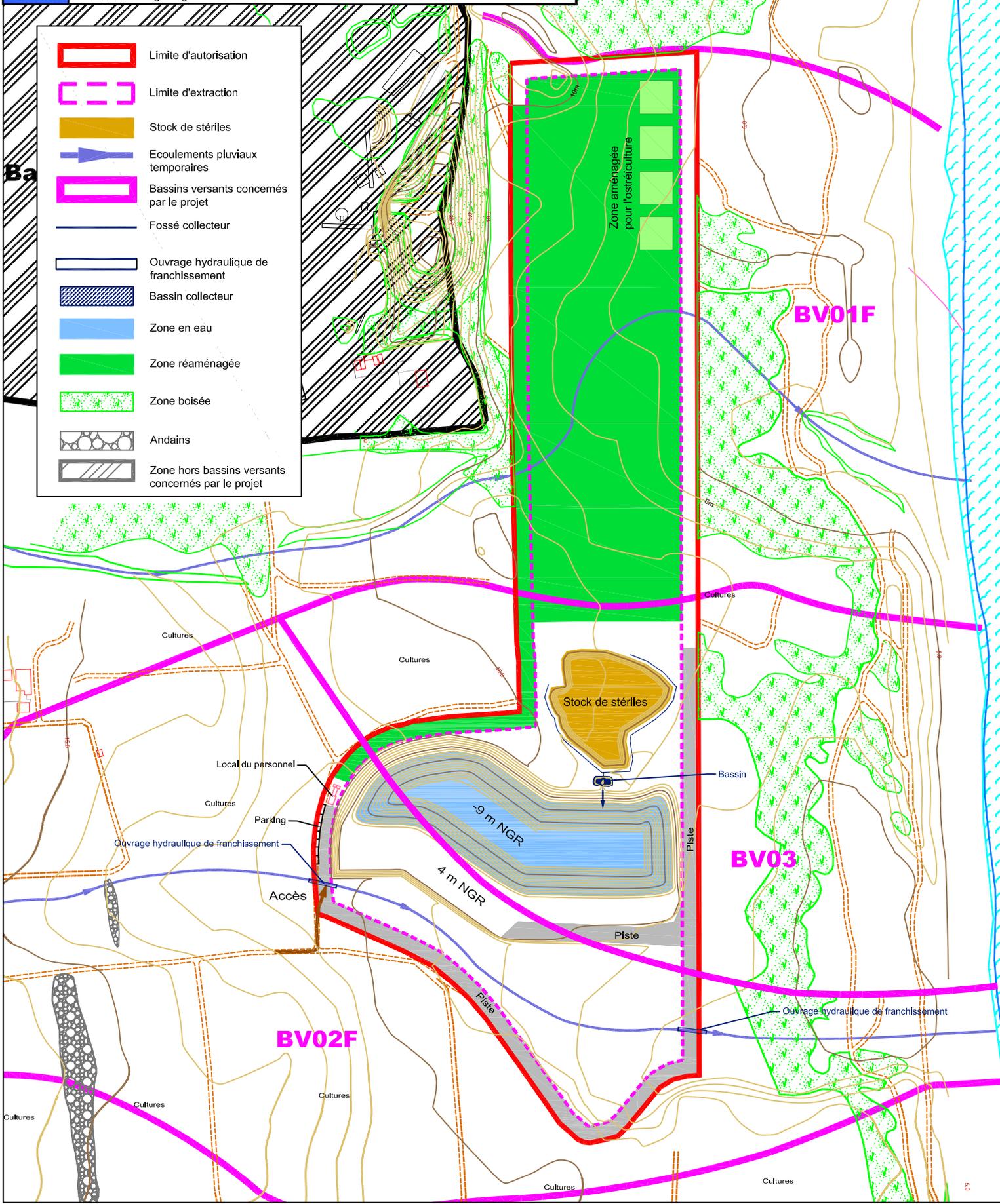
ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
16_02_15_Phaseage.dwg

15 février 2016



	Limite d'autorisation
	Limite d'extraction
	Stock de stériles
	Ecoulements pluviaux temporaires
	Bassins versants concernés par le projet
	Fossé collecteur
	Ouvrage hydraulique de franchissement
	Bassin collecteur
	Zone en eau
	Zone réaménagée
	Zone boisée
	Andains
	Zone hors bassins versants concernés par le projet



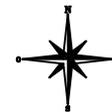
PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

PHASE D'EXPLOITATION 6 : Situation à 10 ans

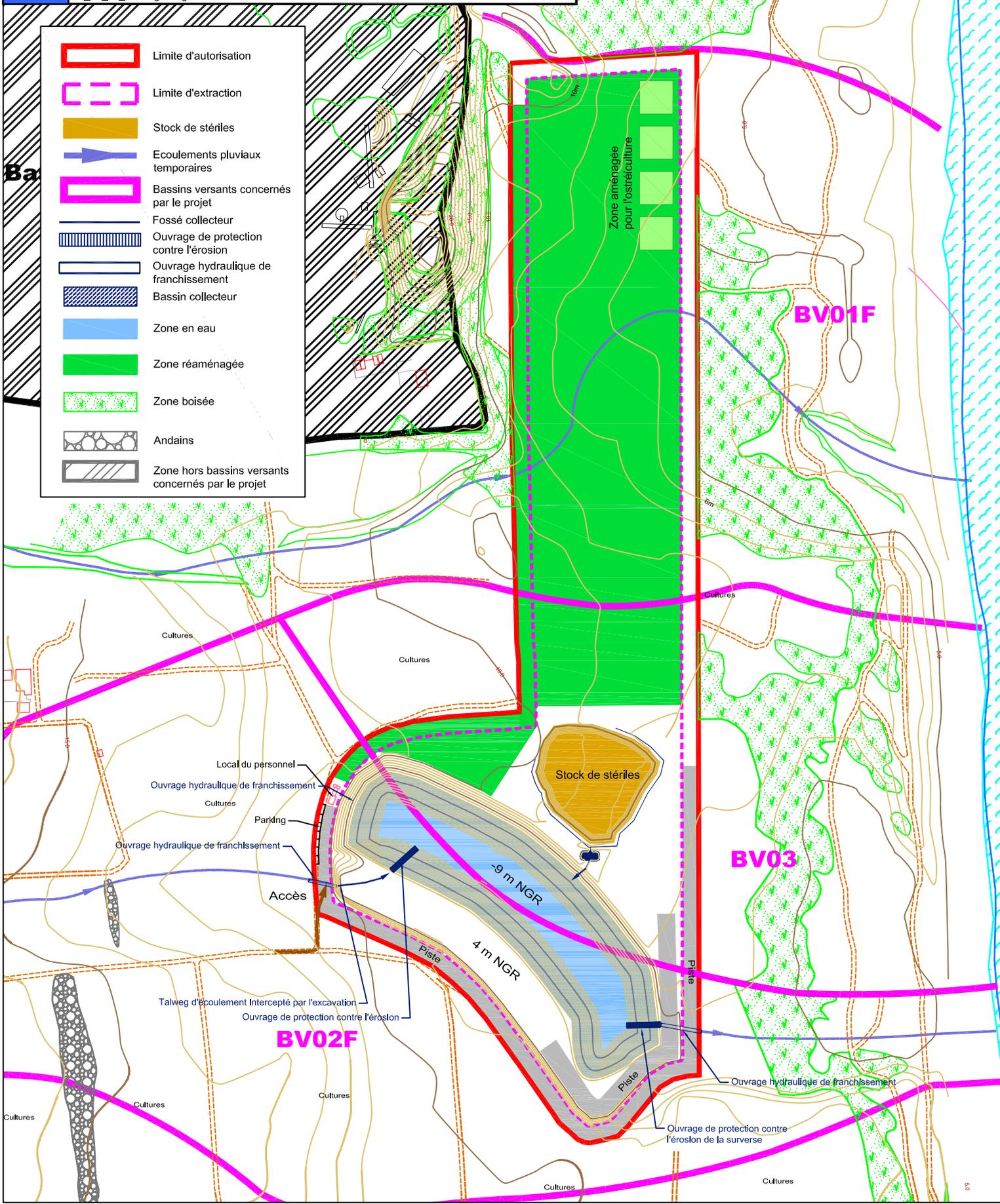
ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
16_02_15_Phasing.dwg

22 mars 2016



	Limite d'autorisation
	Limite d'extraction
	Stock de stériles
	Ecoulements pluviaux temporaires
	Bassins versants concernés par le projet
	Fossé collecteur
	Ouvrage de protection contre l'érosion
	Ouvrage hydraulique de franchissement
	Bassin collecteur
	Zone en eau
	Zone réaménagée
	Zone boisée
	Andains
	Zone hors bassins versants concernés par le projet



PLAN DE PHASAGE DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT

ETAT FINAL REAMENAGE : Situation à 12 ans

ATDx

Echelle 1/3000 - Coordonnées UTM 40 - NGR
16_02_15_Phaseage.dwg

15 février 2016



	Limite d'autorisation
	Limite d'extraction
	Stock de stériles
	Ecoulements pluviaux temporaires
	Bassins versants concernés par le projet
	Fossé collecteur
	Ouvrage hydraulique de franchissement
	Bassin collecteur
	Zone en eau
	Zone réaménagée
	Zone boisée
	Andains
	Zone hors bassins versants concernés par le projet

