

Notre Expertise

Anciens sites miniers et industriels de la vallée
de l'Orbiel
Site de Nartau et Verse de Ramèle
Synthèse de l'étude technico-Economique



ENVISOL
Conseil & Ingénierie

Sites et Sols Pollués

Rapport final
BRGM/DPSM
Affaire : A-2110-013
Rapport : R-SV-PS-2111-1h
Date : 01.03.2022

www.envisol.fr



FICHE ADMINISTRATIVE DU DOSSIER



Siège social	Rapport établi par l'agence
2-4 rue Hector Berlioz 38 110 LA TOUR DU PIN Tel : 04 74 83 62 16 Fax : 04 74 33 97 83 SIRET : 512 308 321 00052 / APE : 7112 B	Le siège social

Suivi :



Version	Date	Suivi des modifications ou observations
Version a	28/06/2021	Non concernée
Version b	06/07/2021	Intégration des remarques du BRGM
Version c	15/07/2021	Intégration des remarques du BRGM
Version d	29/11/2021	Modification du document suite CDC HASUD210930
Version e	12/01/2022	Intégration des remarques ANTEA/BRGM + note BRGM Note DRP/DPSM/UTAM Sud/2021/n°0679/FR + Note DRP/DPSM/UTAM Sud/2022/n° 001/FR
Version f	08/02/2022	Intégration des remarques ANTEA/BRGM
Version g	15/02/2022	Intégration des remarques ANTEA/BRGM
Version h	01/03/2022	Intégration des remarques BRGM

L'équipe projet :



Ingénieure d'étude (rédacteur)	Chef de projet (rédacteur)	Superviseur
Priscillia SEMAOUNE p.semaoune@envisol.fr 04 74 83 62 16	Stéphane VIRCONDELET s.vircondelet@envisol.fr 04 74 83 62 16	Gael PLASSART g.plassart@envisol.fr 04 74 83 62 16

Référentiels encadrant le dossier :



Certification de service des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués – Domaines A, B et D - www.lne.fr



Ce document et ses annexes sont la propriété d'ENVISOL. Il ne peut être utilisé, reproduit ou communiqué même partiellement sans son autorisation.



SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	14
1.1	CONTEXTE	14
1.1	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	15
1.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE EMPLOYEE	20
2	DONNEES UTILISEES	22
2.1	DONNEES COMPLEMENTAIRES A LA PRESENTE ETUDE	22
2.2	DONNEES ACQUISES DANS LE CADRE DE LA PRESENTE ETUDE	24
3	CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	27
3.1	CONTEXTE GEOLOGIQUE	27
3.1.1	<i>Contexte régional</i>	27
3.1.2	<i>Contexte local – Sites d'études</i>	29
3.2	HYDROGEOLOGIE	31
3.2.1	<i>Contexte régional</i>	31
3.2.2	<i>Contexte local</i>	32
3.2.3	<i>Schéma conceptuel</i>	39
3.3	HYDROLOGIE	44
3.3.1	<i>Description physique du Grésillou</i>	44
3.3.2	<i>Débits du Grésillou</i>	47
3.3.3	<i>Qualité des eaux du Grésillou</i>	51
3.3.4	<i>Qualité des sédiments et paléo-sédiments</i>	58
3.4	USAGES ET SENSIBILITE DES MILIEUX	66
4	CARACTERISATION DES SECTEURS ETUDIES	69
4.1	BRUIT DE FOND UTILISE POUR LA CARACTERISATION CHIMIQUE DES SECTEURS	69
4.2	VERSES PRINCIPALE ET SECONDAIRES DE NARTAU	70
4.2.1	<i>Caractéristiques physiques</i>	70
4.2.2	<i>Données sur la stabilité</i>	74
4.2.3	<i>Caractéristiques chimiques</i>	76
4.3	BATIMENTS DE NARTAU	79
4.3.1	<i>Caractéristiques physiques</i>	79
4.3.2	<i>Données sur la stabilité</i>	79
4.3.3	<i>Caractéristiques chimiques</i>	80
4.4	ZONE DE RESIDUS DE FOUR	81
4.4.1	<i>Caractéristiques physiques</i>	81
4.4.2	<i>Données sur la stabilité</i>	82
4.4.3	<i>Caractéristiques chimiques</i>	83
4.5	PLATEFORME MARTY	86



4.5.1	Caractéristiques physiques	86
4.5.2	Données sur la stabilité	87
4.5.3	Caractéristiques chimiques.....	88
4.6	VERSE DE RAMELE	92
4.6.1	Caractéristiques physiques	92
4.6.2	Données sur la stabilité	96
4.6.3	Caractéristiques chimiques.....	96
5	CALCULS DE FLUX ET SCHEMAS CONCEPTUELS	105
5.1	ESTIMATION DES FLUX D'ARSENIC DANS LE GRESILLOU.....	105
5.1.1	Flux chronique d'As	106
5.1.2	Flux d'As pluie significative.....	107
5.1.3	Flux d'As évènement exceptionnel	109
5.2	REPARTITION DES FLUX PAR SECTEUR D'ETUDE.....	111
5.3	FLUX DE POUSSIERE : ETUDE EVADIES ET INERIS	118
5.3.1	Mesures des retombées atmosphériques	118
5.3.2	Mesures de poussières dans l'air ambiant	119
5.3.3	Etude de risque INERIS (En cours de finalisation).....	121
5.4	ELABORATION DU SCHEMA CONCEPTUEL (SITUATION ACTUELLE)	121
5.4.1	Paramètres du schéma conceptuel.....	121
5.4.2	Hiérarchisation des sources	126
5.4.3	Application à chaque zone source retenue	126
5.5	SCHEMA CONCEPTUEL A L'ECHELLE DE LA VALLEE DU GRESILLOU	131
6	SCENARIOS DE GESTION	134
6.1	ANALYSE DES ENJEUX ET PRIORISATION DES ACTIONS DE REHABILITATION.....	134
6.2	METHODOLOGIE DE L'ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE	135
6.3	PRESENTATION DES SCENARIOS PAR ZONE SOURCE	136
6.3.1	Nartau	138
6.3.2	Ramèle.....	144
6.3.3	Plateforme Marty	150
6.3.4	Zone de résidus de four.....	154
6.3.5	Grésillou.....	158
6.4	PRESENTATION DES SCENARIOS L'ECHELLE DE LA VALLEE DU GRESILLOU.....	162
6.4.1	Construction des scénarios intégrés	162
6.4.2	Scénario intégré 1 : R2, N2, M1, F1.....	165
6.4.3	Scénario intégré 2 : R2, M2, F2, G1.....	170
6.4.4	Scénario intégré 3 : R2, N2, M2, F2, G2	173
6.4.5	Mesures complémentaires.....	178



7	BILAN COUTS-AVANTAGES	179
7.1	CHOIX ET DEFINITION DES CRITERES DE COMPARAISON	179
7.2	METHODOLOGIE DE NOTATION.....	182
7.3	RESULTATS DES BILAN COUTS-AVANTAGES DES SCENARIOS ENVISAGES PAR ZONE D'INTERET..	183
7.3.1	<i>Verses de Nartau</i>	184
7.3.2	<i>Verse de Ramèle</i>	186
7.3.3	<i>Plateforme Marty</i>	188
7.3.4	<i>Zone de résidus de fours</i>	190
7.3.5	<i>Grésillou</i>	192
7.4	RESULTATS DU BILAN COUTS-AVANTAGES DES SCENARIOS ENVISAGES A L'ECHELLE DE LA VALLEE DU GRESILLOU	193
7.5	ETUDE D'UN SCENARIO COMPLEMENTAIRE A L'ECHELLE DE LA VALLEE DU GRESILLOU INTEGRANT LE RETRAIT DES VERSES DE NARTAU.....	196
7.6	LIMITES DU BILAN COUTS-AVANTAGES	198
8	EVALUATION DES RISQUES RESIDUELS	198
9	INCERTITUDES	204
9.1	DEFINITIONS ET METHODE.....	204
9.2	EVALUATION DES INCERTITUDES.....	204
9.3	DISCUSSION.....	206
10	CONCLUSIONS	208



LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des sites satellites Nartau et Ramèle (ENVISOL).....	16
Figure 2. Réseau hydrographique local (ENVISOL).....	17
Figure 3. Localisation des zones sources primaires et secondaires potentielles (ENVISOL). ...	19
Figure 4. Carte et coupe synthétique schématique du Minervoix passant par l'Orbiel	28
Figure 5. Coupe schématique verticale des terrains regroupés dans la mine de la surface au fond (ANTEA, 2003).....	29
Figure 6 : Carte géologique (modifiée du BRGM) et coupe géologique simplifiée le long du Grésillou (ENVISOL) (NAR = Nartau, RES = zone de résidus de four, MART = plateforme Marty, RAM = Ramèle, HE = Hort Estiou, VIL = Villanière) (ENVISOL)	31
Figure 7. Coupe géologique simplifiée le long du Grésillou et localisation des observations hydrogéologiques	33
Figure 8. Localisation des pertes et résurgences observées au cours des investigations de terrain.....	35
Figure 9. Modèle des échanges entre la mine et son environnement (Minélis, 2006)	36
Figure 10. Evolution des teneurs en arsenic entre 2012 et 2021 (données Minélis et ENVISOL).....	38
Figure 11. Schéma hydrogéologique verse de Nartau	41
Figure 12. Schéma hydrogéologique verse de Ramèle.....	41
Figure 13. Cartographie hydrogéologique.....	43
Figure 14. Localisation de la zone busée au sein du Grésillou	44
Figure 15. Photographie de la zone busée : entrée et sortie (de gauche à droite).....	45
Figure 16. Localisation de l'Hort Estiou avant la mise en place de la verse (Haut, trait rose) et après (Bas, trait bleu) avec photographie depuis la route (vue vers l'amont)	46
Figure 17. Débit moyen du Grésillou en Mine 1 et 2 mesuré par Minélis de janvier 2013 à 2020.	47
Figure 18. Stations de suivi des débits du Grésillou.....	48
Figure 19. Moyennes mensuelles des débits et concentrations en arsenic total au droit des stations Mine 1, Mine 1,5, Mine 2 sur la période 2010-2020 (données Minélis). Les écarts-types sont également précisés. On rappelle que pour le suivi Minélis que le débit en mine 1 est égal à mine 1,5 et pris en un point unique.	51
Figure 20. Concentrations moyennes en arsenic dissous dans les eaux superficielles du Grésillou	52
Figure 21. Concentrations moyennes en arsenic total dans les eaux superficielles du Grésillou	52
Figure 22. Concentrations en sulfates dans les eaux superficielles du Grésillou, de l'Orbiel et au niveau de la Cheminée Panneau Sud.....	53
Figure 23. Evolution de la conductivité des stations investiguées en 2020 et début 2021 (campagnes mensuelles et de prélèvement automatique)	54
Figure 24. Plan de localisation des 3 préleveurs automatiques au droit de Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2.....	55



Figure 25. Evolution des concentrations en arsenic total et dissous lors de la première campagne de préleveurs automatiques du 14 et 16 décembre 2020 (stations Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2)	56
Figure 26. Evolution des concentrations en arsenic total et dissous lors de la deuxième campagne de préleveurs automatiques du 29 janvier et 02 février 2021 (stations Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2)	57
Figure 27. Cartographie des concentrations en As sur les sédiments du Grésillou (ICF, 2007) 58	58
Figure 28. Photographies d'échantillons de sédiments du Grésillou : à gauche GRE1, au centre GRE22 et à droite GRE35, situés respectivement en amont de Nartau, en aval des zones sources et avant la confluence avec l'Orbiel. Photographies de blocs de scories et de minerai retrouvés dans le Grésillou en GRE1 et GRE9.	59
Figure 29. Cartographie des concentrations en arsenic dans les sédiments le long du Grésillou	61
Figure 30. Concentrations en arsenic des sédiments le long du Grésillou mesurées lors de la campagne de prélèvements réalisée par le BRGM en 2021.....	63
Figure 31. Localisation des paléosédiments	64
Figure 32. Cartographie des concentrations en arsenic dans les paléo-sédiments 1 et 2.....	65
Figure 33 : Captages AEP symbolisés en triangle bleu associé à leur périmètre de protection des eaux immédiat en rouge et éloigné en bleu (données : BSS BRGM ,ARS, Agence de l'eau)	68
Figure 34. Localisation des 2 domaines (EGC)	70
Figure 35. Vues du pied de verse de Nartau et des gabions (ENVISOL).....	71
Figure 36. Zones d'activités historiques présentes sur Nartau (ENVISOL)	71
Figure 37. Illustrations des verses de Nartau.....	73
Figure 38. Photographies d'échantillons représentatifs des ferricrètes sur les verses principale et secondaire de Nartau.....	74
Figure 39 : Aléas sur site à partir des données GEODERIS, 2011 (ENVISOL).....	75
Figure 40. Erosion superficielle des matériaux de la verse de Nartau observée lors des pluies exceptionnelles d'Octobre 2018 (BRGM, 2019).....	75
Figure 41. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur Nartau (rectangle jaune) (ICF, 2007).....	76
Figure 42. Cartographie des concentrations en arsenic au droit des verses de Nartau	78
Figure 43. Illustration de la zone des bâtiments de Nartau (carré noir, emplacement des anciens bâtiments). Agrandissement sur des matériaux remaniés présents sur la zone.	79
Figure 44. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur les bâtiments de Nartau (ICF, 2007).....	80
Figure 45. Cartographie des concentrations en arsenic relevées par ENVISOL au droit des bâtiments de Nartau	81
Figure 46. Illustration de la zone des résidus de four	82
Figure 47. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur la zone de résidus de four (rectangle jaune) (ICF, 2007)	83
Figure 48. Cartographie des concentrations en As sur la zone de résidus de four après le décapage de 2015, réalisée à partir des données Minelis (ENVISOL)	84
Figure 49. Photographies des zones échantillonnées au droit de la zone de résidus de four de Nartau.	84



Figure 50. Cartographie des concentrations en arsenic (en mg/kg) au droit de la zone des résidus de four.....	86
Figure 51. Illustration des éléments constitutifs de la plateforme Marty	87
Figure 52. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur la plateforme de Marty (rectangle jaune) (ICF, 2007).....	88
Figure 53. Photographies des matériaux présents sur la plateforme de Marty.....	89
Figure 54. Cartographie des concentrations en arsenic au droit de la plateforme Marty	91
Figure 55. Illustration de la verse annexe de Ramèle.....	94
Figure 56. Illustration de la verse de Ramèle et de la zone érodée en pied de verse.	94
Figure 57. Epaisseur des matériaux rapportés pour construire la verse Ramèle.	95
Figure 58. Zones d'activités historiques sur Ramèle (ENVISOL)	95
Figure 59. Glissement superficiel observé au droit de la galerie d'aération Ramèle (Janvier 2020)	96
Figure 60. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur Nartau et Ramèle (ICF, 2007).....	97
Figure 61. Photographies d'échantillons représentatifs de la zone d'impact à proximité de l'ancienne cheminée de la fonderie de la verse de Ramèle.	98
Figure 62. Photographies des matériaux situés dans les zones de ravinement au droit de la zone d'impact en corps de verse de Ramèle.....	99
Figure 63. Photographies des matériaux situés au pied de la verse Ramèle érodé par le Grésillou	100
Figure 64. Cartographie des concentrations en arsenic au droit de la verse de Ramèle.....	101
Figure 65. Cartographie des concentrations en arsenic au pied de verse érodé de Ramèle....	102
Figure 66. Photographie d'échantillons représentatifs des matériaux de la verse annexe de Ramèle.....	103
Figure 67. Cartographie des concentrations en arsenic au droit de la verse annexe de Ramèle	104
Figure 68. Quantification des flux d'As en chronique en kg/an.	107
Figure 69. Quantification des flux d'As en pluies significatives en kg/an.	108
Figure 70. Qualification des flux d'As en événement exceptionnel.	111
Figure 71. Schéma explicatif de l'estimation du potentiel de relargage des zones sources	112
Figure 72. Surfaces considérées comme homogènes pour le calcul du potentiel de relargage	115
Figure 73. Localisation des sites de mesure de la qualité de l'air par EVADIES (source : Rapport 7020 v3.0 EVADIES).....	119
Figure 74. Localisation des sites de mesure de la qualité de l'air par EVADIES (source : Rapport 0321 EVADIES).....	120
Figure 75. Schémas conceptuels de la verse de Nartau (ENVISOL).....	127
Figure 76. Schéma conceptuel de la zone de résidus de four (ENVISOL)	128
Figure 77. Schéma conceptuel de la Plateforme Marty (ENVISOL).....	129
Figure 78. Schéma conceptuel de la verse de Ramèle (ENVISOL).....	130
Figure 79. Schéma conceptuel à l'échelle de la vallée du Grésillou (ENVISOL).....	133
Figure 80. Scénario Nartau 1 : excavation totale	140



Figure 81. Scénario Nartau 2 : Confinement.....	143
Figure 82. Scénario Ramèle 1 : gestion pied de verse, des eaux et excavation de l'ancienne zone d'impact cheminée	147
Figure 83. Scénario Ramèle 2 : gestion pied de verse, des eaux et confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée	150
Figure 84. Scénario Plateforme Marty 1 : excavation totale	152
Figure 85. Scénario Plateforme Marty 2 : confinement	154
Figure 86. Scénario résidus de four 1 : excavation totale.....	156
Figure 87. Scénario zone de résidus de four 2 : confinement.....	158
Figure 88. Scénario Grésillou 1 : seuils au niveau des sources primaires	160
Figure 89. Scénario Grésillou 2 : seuils jusqu'à la confluence avec l'Orbiel.....	162
Figure 90. Scénario intégré 1 : excavation de la plateforme Marty et résidus du four, confortement du pied de verse de Ramèle et gestion des eaux de ruissellement, confinement des verses de Nartau et de l'ancienne zone d'impact cheminée	169
Figure 91. Scénario intégré 2 : mise en place des seuils et zones d'expansion de crue dans le Grésillou, confortement du pied de verse de Ramèle et gestion des eaux de ruissellement, excavation de la zone de résidus du Four vers Marty avec confinement de la plateforme Marty et confortement de partie basse, confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée	173
Figure 92. Scénario intégré 3 : mise en place des seuils et zones d'expansion de crue dans le Grésillou, confortement du pied de verse de Ramèle et gestion des eaux de ruissellement, confinement de la verse de Nartau, excavation de la zone de résidus du Four vers Marty avec confinement de la plateforme Marty et confortement de partie basse, confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée de Ramèle.....	178
Figure 93. Schéma conceptuel de la vallée après mise en œuvre du scénario intégré 1.....	201
Figure 94. Schéma conceptuel de la vallée après mise en œuvre du scénario intégré 2.....	202
Figure 95. Schéma conceptuel de la vallée après mise en œuvre du scénario intégré 3.....	203



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Listing des 7 zones d'intérêt sources étudiées.....	18
Tableau 2. Etudes / données disponibles.....	23
Tableau 3. Investigations réalisées.....	24
Tableau 4. Débits estimés en m³/s à la suite des campagnes de jaugeages mensuelles le long du Grésillou en 2020 (Logiciel de calcul DEPJAU).....	49
Tableau 5. Débits calculés à la suite des campagnes de jaugeages réalisées lors des événements pluvieux significatifs.....	50
Tableau 6. Caractéristiques des verses de Nartau.....	72
Tableau 7. Caractéristiques de la zone de résidus de four.....	82
Tableau 8. Caractéristiques de la plateforme Marty.....	87
Tableau 9. Caractéristiques de la verse de Ramèle.....	93
Tableau 10. Caractéristiques de la verse annexe de Ramèle.....	93
Tableau 11. Evaluation qualitative du flux particulaire des zones sources primaires et secondaires.....	110
Tableau 12. Calcul du potentiel de relargage (mg/kg*m²) par zone source.....	117
Tableau 13. Listing des 7 zones sources potentielles.....	122
Tableau 14. Techniques de réhabilitation sélectionnées et intégrées à un scénario pour chaque zone d'intérêt majeur du site d'étude.....	137
Tableau 15. Techniques de réhabilitation sélectionnées pour l'élaboration des scénarios intégrés du site d'étude.....	164
Tableau 16. Comparaison des scénarios intégrés en termes de flux.....	165
Tableau 17. Sous critères techniques et organisationnels.....	180
Tableau 18. Sous critères environnement, hygiène et sécurité.....	181
Tableau 19. Sous critères économiques.....	182
Tableau 20. BCA - Verses de Nartau.....	184
Tableau 21. BCA - Verse de Ramèle.....	186
Tableau 22. BCA - Plateforme Marty.....	188
Tableau 23. BCA - Zone de résidus de fours.....	190
Tableau 24. BCA - Grésillou.....	192
Tableau 25. BCA - Scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou.....	194
Tableau 26. BCA – notation du scénario complémentaire avec retrait de Nartau.....	197
Tableau 27. Modalités d'action sur les risques pour le scénario intégré 1.....	199
Tableau 28. Modalités d'action sur les risques pour le scénario intégré 2.....	199
Tableau 29. Modalités d'action sur les risques pour le scénario intégré 3.....	200
Tableau 30. Evaluation des incertitudes résiduelles.....	205



LISTE DES ANNEXES

<i>Annexe 1. Normes et textes réglementaires applicables</i>	22
---	-----------



Glossaire et abréviations

Bassin versant : un espace drainé par un cours d'eau et ses affluents sur un ensemble de versants. Toutes les eaux dans cet espace s'écoulent et convergent vers un même point de sortie appelé exutoire.

Bilan Coûts-Avantages : le BCA constitue l'un des éléments du plan de gestion et se focalise sur un argumentaire précis de différents scénarios. Il est à adapter en fonction des connaissances recueillies sur le site d'étude et mis à jour lors de l'établissement du plan de conception des travaux.

Cible : personne potentiellement exposée à un danger.

COD/MES : Carbone organique dissous/matière en suspension.

Danger : capacité intrinsèque d'une substance susceptible de causer un dommage pour la santé humaine et/ou pour l'environnement.

Déchets d'exploitations / déchets miniers : la notion de déchets miniers regroupe tous les types de déchets directement ou indirectement issus de l'exploitation minière, dans la mine elle-même (y compris les poussières), ou hors de celle-ci. Ces déchets sont principalement : les stériles, les résidus miniers et les déchets produits pour l'exploitation.

DRX : diffractométrie de rayons X.

Eaux de percolation : ensemble des eaux transitant dans le sol depuis la surface vers les nappes d'eaux souterraines. Les processus de percolation de l'écoulement de l'eau à travers un substrat solide sont la filtration et la lixiviation.

Gisement : un gisement désigne la concentration d'une ressource naturelle (métaux, hydrocarbures, eau...), dont l'exploitation est économiquement rentable. Sa délimitation spatiale est dépendante des résultats des travaux d'exploration et de pré-exploitation.

ICP-MS/AES : Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry / Atomic Emission Spectrometry.

Mesure de gestion : disposition visant à éliminer les pollutions sur site ou à limiter voire désactiver leur diffusion dans le milieu environnant.

Milieu de transfert : milieu intermédiaire, siège d'un déplacement d'une substance entre un milieu source et un milieu d'exposition (ou milieu source secondaire).

Milieu d'exposition : milieu de contact entre une cible et un danger.

Milieu source primaire : milieu pollué en concentration significative diffusant sa pollution dans l'environnement par l'intermédiaire d'une voie de transfert.

Milieu source secondaire : milieu pollué en concentration significative, généré à partir du transfert de pollution d'une source primaire, diffusant sa pollution dans l'environnement par l'intermédiaire d'une voie de transfert.

Minerai altéré : le minerai du gisement de Salsigne est principalement composé de sulfures arséniés et/ou aurifères. Le minerai est qualifié d'altéré lorsque les sulfures ont été transformés, par alération supergène (i.e. oxydation), en minéraux secondaires tels que des oxy/hydroxydes de fer qui incluent notamment la scorodite.

Paléosédiments : sédiments déposés au cours d'anciennes crues le long du cours d'eau.



Pollution (métallique) : introduction directe ou indirecte de substances (ici éléments traces métalliques) dans l'environnement par l'activité humaine pouvant nuire à la santé humaine et/ou à l'environnement.

Résidus miniers : Les résidus ou produits artificiels (généralement d'une granulométrie homogène) résultant du traitement (enrichissement) physique, chimique ou biologique d'un minerai (matériaux sélectionnés au-dessus de la teneur de coupure).

Risque : probabilité de survenue d'un danger.

Scoring : traduction anglaise du mot notation

Scénario de gestion : combinaison de mesures de gestion (techniques de dépollution, restrictions d'usage, dispositions constructives et/ou monitoring) permettant la maîtrise des sources de pollution.

Site d'étude : le site d'étude se situe dans la vallée du Grésillou et plus précisément entre l'amont immédiat des verses de Nartau jusqu'à la confluence de ce ruisseau avec l'Orbiel.

Source primaire de pollution : Objet d'étude présentant un milieu source primaire

Source secondaire de pollution : Objet d'étude présentant un milieu source secondaire

Stériles miniers : Les stériles d'exploitation ou matériaux naturels (souvent rocheux et à granulométrie très hétérogène) dont la teneur en élément(s) valorisable(s) est en dessous de leur teneur de coupure. On distinguera :

- les stériles francs (de découverte, de traçage) présentant peu de différence avec les sols naturels
- Les stériles de sélectivité plus ou moins minéralisés et inférieurs à la teneur de coupure.

Technique de dépollution : procédé, physique, chimique ou biologique permettant la suppression, l'abattement ou la stabilisation pérenne d'une pollution.

Technique de dépollution « novatrice » : technique de dépollution pour laquelle il existe à l'heure actuelle peu (voire pas) de retour d'expérience en France.

Voie de transfert : vecteur d'origine physico-chimique permettant le déplacement d'un polluant.

Zones d'intérêt : zones sources primaires ou secondaires présentant des caractéristiques historique, géographique et structurelles spécifiques, siège d'une pollution.

Zone des résidus de four nommée ancienne zone de résidus de four : cette zone fait référence à une zone où des résidus de four avaient été retrouvés en 2015 et ont été déplacé sur la plateforme Marty. En date de la présente étude, les résidus de four n'y sont plus présents.

Zone source : zone présentant des caractéristiques historique, géographique, physique, structurelles, chimiques spécifiques, siège d'une pollution.



1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.1 Contexte

Les anciens sites miniers et industriels de la vallée de l'Orbiel ont historiquement été très actifs dans le contexte minier français. La mine de Salsigne a été la plus importante mine d'or d'Europe occidentale et la dernière en France métropolitaine. Divers exploitants se sont succédés jusqu'à l'arrêt définitif de l'exploitation minière en 2004.

Le dernier exploitant, la société MOS (Mine d'Or de Salsigne), a réalisé les travaux de fermeture et mise en sécurité de la mine de Salsigne et des installations connexes. En parallèle, l'Etat a confié à l'ADEME, en 1999, plusieurs travaux de réhabilitation sur une partie du site de la Combe du Saut, siège des principales installations de traitement du minerai associées à la mine de Salsigne.

Par la suite, une gestion des sites et une surveillance environnementale ont été mises en place à partir de 2006. Elles ont été confiées au Département de Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM par la convention Etat – BRGM du 4 mai 2006. Cette gestion porte sur toutes les installations héritées de la société MOS, les terrains issus des réhabilitations menées par l'ADEME, mais également sur un certain nombre de sites anciens acquis par l'Etat dès 1992, date de création de la société MOS. A partir de cette date, la responsabilité de la société MOS ne s'appliquait donc pas sur ces sites anciens, appelés maintenant « sites exclus » ou « sites satellites ».

Les sites de Nartau et Ramèle, objets de la présente étude, font partie de ces sites dits « exclus » ou « satellites ». Ils sont respectivement partiellement et intégralement constitués de verses, c'est-à-dire de matériaux historiquement dispersés sur la topographie originelle. Les précédentes études sur les éléments majeurs et traces montrent que l'arsenic (As), de par sa toxicité et sa présence en quantité, est le traceur principal des activités anciennes et la problématique majeure de cette étude.

Dans le cadre de sa mission de maîtrise d'ouvrage déléguée, le BRGM/DPSM a mandaté ENVISOL pour la réalisation d'une étude technico-économique sur les possibilités de gestion de ces deux sites satellites au regard des usages identifiés et de leur impact sur ces derniers.

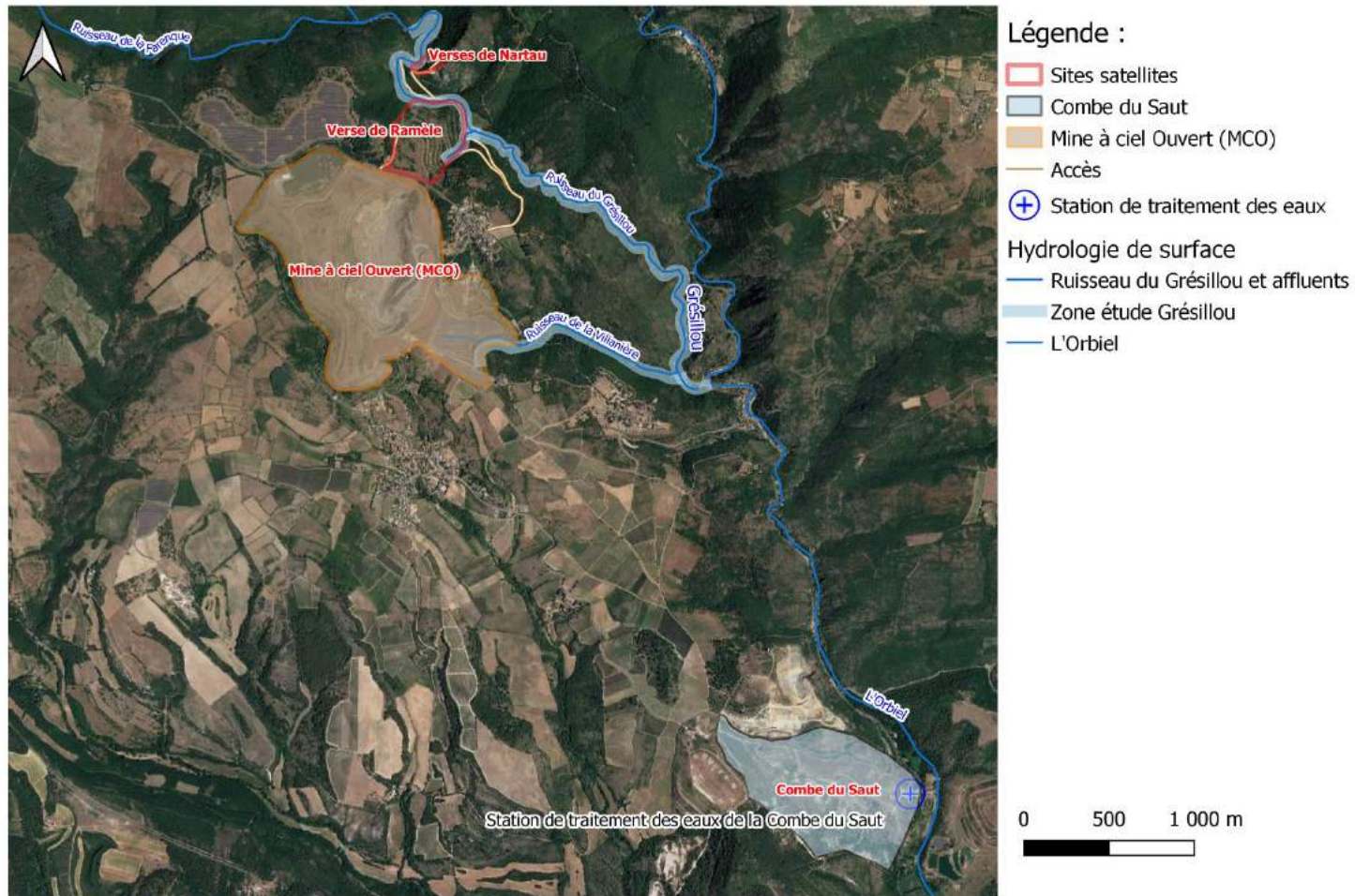
D'autres sites « exclus » ou « satellites », hors cadre de la présente étude, sont présents sur le secteur de Salsigne : Malabau, Peyre-brune, arséniate de chaux et verse de l'atelier.



1.1 Présentation de la zone d'étude

Les sites de Nartau et de Ramèle sont localisés sur la concession de Villanière (Aude), au nord de l'ancienne mine à ciel ouvert (MCO) (voir Figure 1) au sein du bassin versant du Grésillou qui présente une surface d'environ 12 km² (voir Figure 2).

Le Grésillou est le ruisseau principal de ce bassin versant et se jette dans l'Orbiel, au droit du village de Lastours.



Client : BRGM
Site : Secteur de Salsigne
Titre : Localisation des sites satellites de Nartau et Ramèle

Dernière modification : 28/01/22

Version : b

Figure 1. Localisation des sites satellites Nartau et Ramèle (ENVISOL)

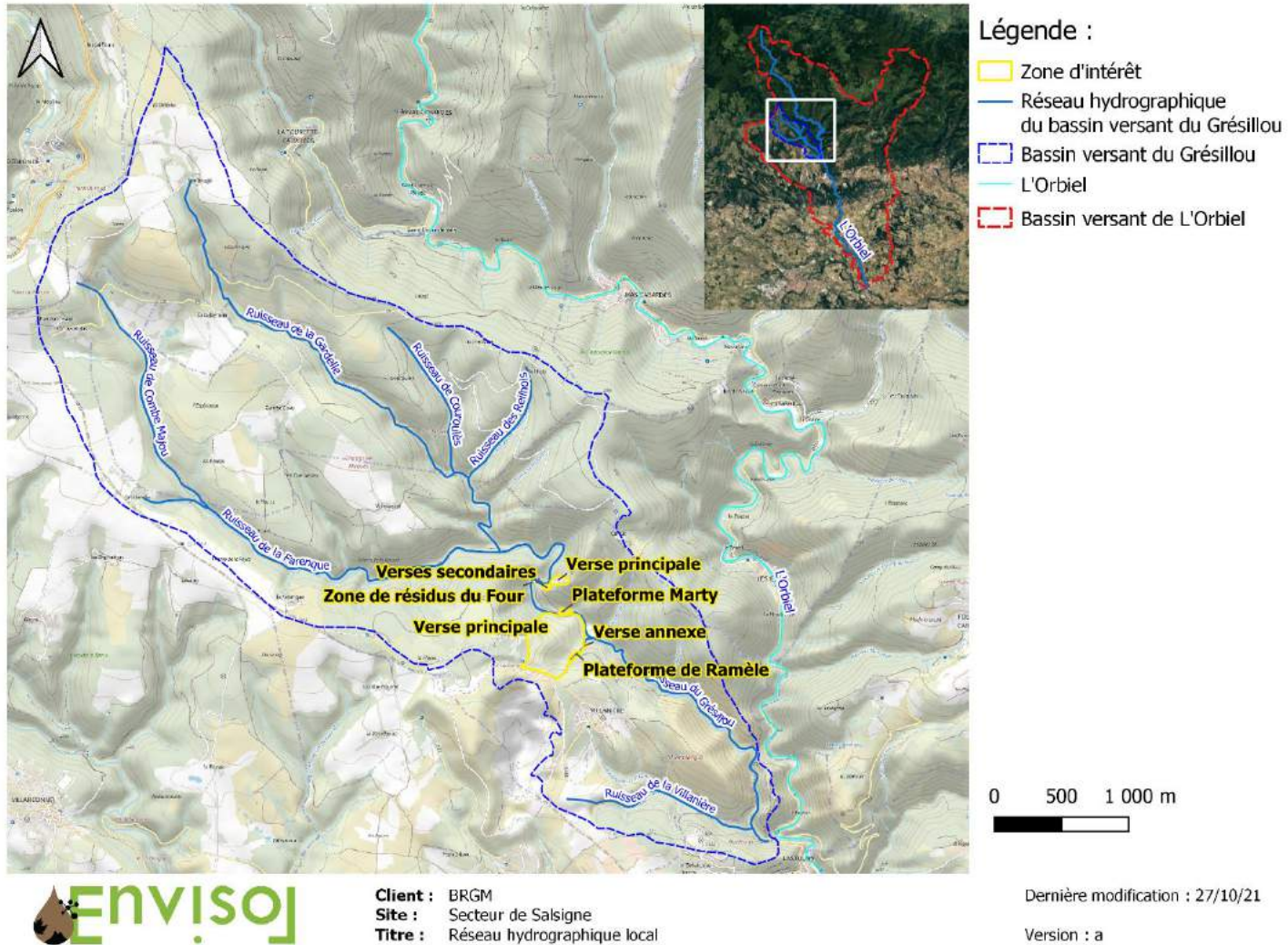


Figure 2. Réseau hydrographique local (ENVISOL)



Dans le cadre de la présente étude, le secteur d'étude a été découpé en 7 zones d'intérêt présentant des caractéristiques historique, géographique et structurelles spécifiques. Ces zones regroupent des sources potentielles primaires et secondaires. On rappelle qu'une source primaire est un milieu pollué en concentration significative et qu'une source secondaire est un milieu pollué en concentration significative, générée à partir du transfert de pollution d'une source primaire ; les deux diffusant leur pollution dans l'environnement par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs voies de transfert.

Elles sont listées dans le tableau suivant et présentés sur la Figure 3.

Tableau 1. Listing des 7 zones d'intérêt sources étudiées.

Secteur de Nartau
<ul style="list-style-type: none">• Verse principale et verses secondaires de Nartau
<ul style="list-style-type: none">• Bâtiments de Nartau
<ul style="list-style-type: none">• Zone de résidus de four
<ul style="list-style-type: none">• Plateforme Marty
Secteur de Ramèle
<ul style="list-style-type: none">• Verse de Ramèle
<ul style="list-style-type: none">• Verse annexe de Ramèle
Vallée du Grésillou
<ul style="list-style-type: none">• Sédiments et paléo-sédiments du Grésillou,

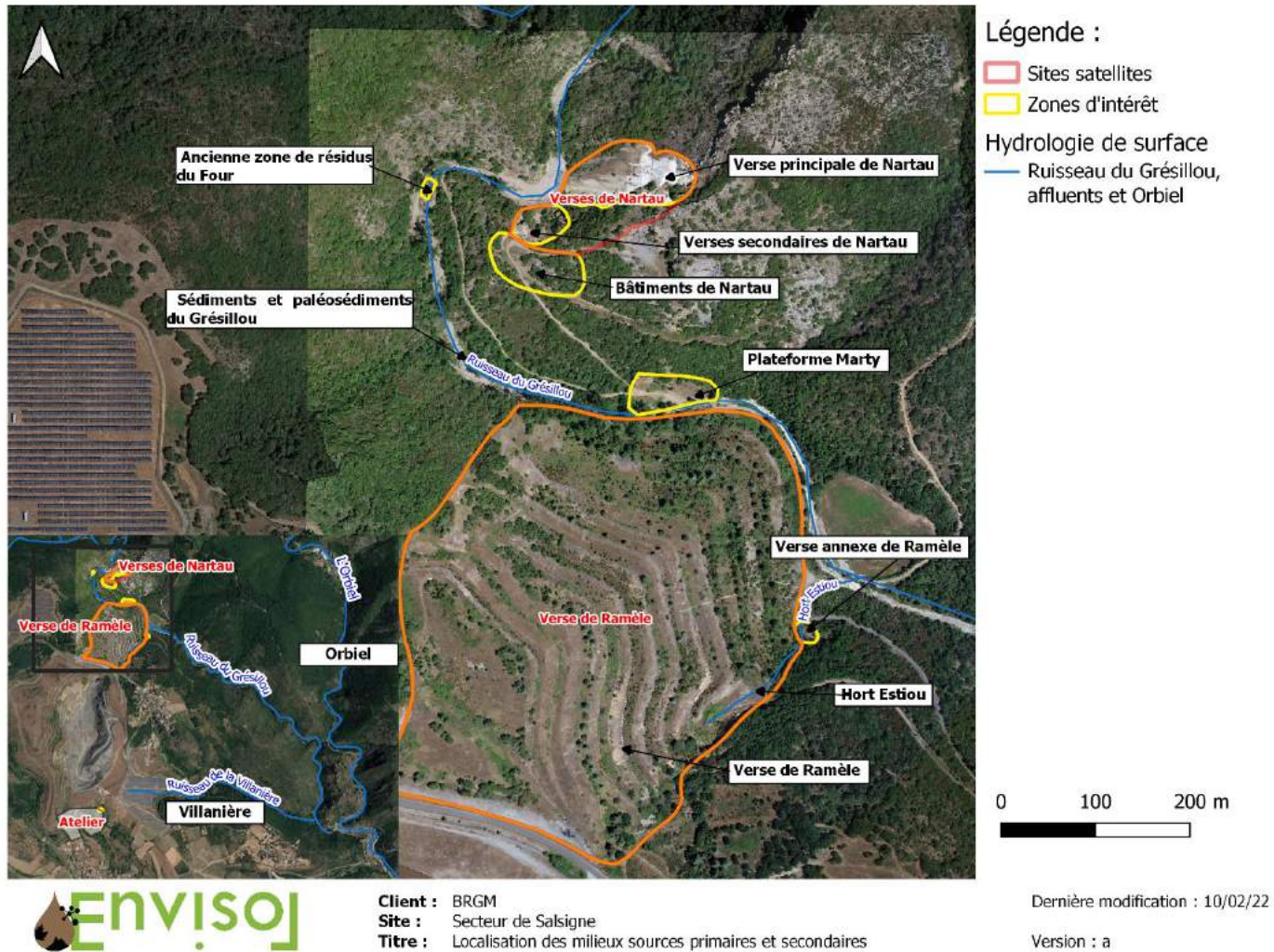


Figure 3. Localisation des zones sources primaires et secondaires potentielles (ENVISOL).



1.2 Objectifs de l'étude et méthodologie employée

L'étude engagée concerne la réalisation d'une étude technico-économique de gestion des sites satellites de Nartau et Ramèle. Elle a pour objectif, sur la base d'une synthèse des données d'ores et déjà disponibles et de données complémentaires acquises lors de cette étude en application d'un principe de proportionnalité, de définir et hiérarchiser des scénarios de gestion des sources de pollution identifiées encore présentes dans la vallée du Grésillou.

L'objectif final des scénarios de gestion est de supprimer ou réduire les émissions identifiées et quantifiées à partir des sources dans l'objectif de maîtriser les impacts constatés.

Cette étude technico-économique constitue donc un outil d'aide à la décision définissant une première phase d'orientation des solutions de gestion envisageables, identifiées sur la base des connaissances actuelles et confrontées à un bilan coûts-avantages.

D'un point de vue général, la méthodologie employée dans le cadre de cette étude repose sur la politique nationale relative à la gestion des sites et sols pollués concrétisée au sein d'une note ministérielle en date du 19 avril 2017. Cette doctrine est fondée sur la gestion du risque (sanitaire et environnemental) suivant l'usage des milieux environnementaux, en visant une maîtrise des sources et de leurs impacts avec pour priorité leur traitement, principalement lorsqu'elles sont concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées dans l'espace. Elle répond donc au principe de spécificité lié à la situation particulière de chaque site (comportement des polluants concernés, contexte environnemental, usages...).

Cette étude technico-économique a été divisée en 4 tâches, présentées *infra*, qui ont pour objectif d'établir, puis enrichir, le schéma conceptuel de la vallée du Grésillou. Ce schéma conceptuel représente un élément fondamental de la compréhension du fonctionnement de la vallée en termes de sources, de transferts et de cibles. Il s'agit donc ici de traduire qualitativement, de par ses composantes élémentaires, la notion de risque. Ce caractère qualitatif ne signifie pas pour autant que les sources et les voies de transfert ne sont pas hiérarchisées et pour certaines quantifiées ou rationalisées (estimation de masses et de flux), ceci constituant un objectif essentiel afin, *in fine*, de cibler les sources et / ou voies de transfert majeures et donc prioritaire dans le cadre de l'établissement des scénarii de gestion du site, objectif final de cette étude.

Enfin, s'agissant d'une gestion du risque associé à un contexte environnemental hétérogène tant dans sa structure que dans sa temporalité (phénomènes transitoires notamment), des incertitudes peuvent demeurer et doivent être identifiées pour permettre d'en déterminer l'incidence éventuelle sur les mesures à envisager et les actions restant à mener pour les lever ou, *a minima*, les réduire. Cette analyse des incertitudes fait l'objet d'un volet spécifique à cette étude.

Les différentes tâches qui ont été effectuées dans le cadre de la présente étude sont rappelées ci-dessous :

Tâche 1 : Appropriation du site et de la problématique, études historiques et documentaires, étude de vulnérabilité et établissement du schéma conceptuel initial.

La tâche 1 a eu pour objectif de procéder à une synthèse interprétée de l'ensemble des données disponibles sur le site d'étude en vue :

- d'élaborer un schéma conceptuel initial d'une part ;
- proposer un programme d'investigations visant à lever des incertitudes mises en évidence au niveau du schéma précité d'autre part.



Tâche 2 : Elaboration d'un programme d'investigations.

Cette tâche, basée sur les conclusions de la tâche 1, a permis de définir la stratégie d'investigation ainsi que les protocoles associés.

Tâche 3 : Synthèse des données d'investigation et actualisation du schéma conceptuel.

La tâche 3 a concerné les phases d'investigations de terrain et de collecte de données quantifiées de l'état des milieux. Ces investigations ont permis une mise à jour du schéma conceptuel.

Celle-ci a été menée selon deux axes, à savoir :

- des investigations de sols et de sédiments destinées à caractériser chimiquement et minéralogiquement ces milieux. Elles ont été réalisées en deux temps :
 - ✓ une campagne de reconnaissance de caractérisation *in situ* destinée à affiner le programme d'investigations,
 - ✓ une campagne d'investigations.
- des investigations de suivi de la qualité des eaux superficielles et/ou sédiments du Grésillou via :
 - ✓ des campagnes de prélèvements d'eaux superficielles et/ou de sédiments du Grésillou selon une fréquence sensiblement mensuelle et menées entre janvier et décembre 2020,
 - ✓ deux campagnes de prélèvements automatiques d'eaux superficielles du Grésillou représentatifs d'événements météorologiques singuliers.

Tâche 4 : Réalisation d'une étude technico-économique.

L'étude a permis d'élaborer, dans un premier temps, les schémas conceptuels des sites et de la vallée, de réaliser des investigations de terrain, de hiérarchiser les contributeurs en matière de pollution, et d'établir des premiers axes de mesures de gestion. A l'issue de cette première phase, diverses questions se posaient, et il est apparu nécessaire de renforcer l'équipe projet de manière à apporter des expériences complémentaires et permettre des échanges techniques afin de compléter l'analyse technico-économique, mais aussi de bénéficier d'une base de données plus conséquentes sur les aspects opérationnels de travaux (faisabilité, impacts chantier, nuisances directes ou indirectes, budgets, etc.). Pour cela, une assistance à maîtrise d'ouvrage a été mise en place pour assurer cet appui technique renforcé et complémentaire. Le Bureau d'étude Antea Group a été missionné par le BRGM à cet effet. Lors de cette dernière phase, les éléments complémentaires et structurants résultant d'études non disponibles dans la première partie du projet (étude poussières, étude de définition du Bruit de Fond Pédogéochimique notamment) ont pu être intégrés. Cet appui technique complémentaire a permis également d'approfondir l'estimation des flux d'arsenic. Ce travail a permis d'approcher les flux en fonction de différentes périodes hydrologiques, et de bien distinguer les flux dissous et particulaires en arsenic dans le Grésillou, permettant de hiérarchiser les impacts des différents secteurs retenus à l'échelle de la vallée. A l'issue de ce travail, les mesures de gestion et *in fine* les scénarios à l'échelle des secteurs et leur chiffrage ont été précisés, en discutant et challengeant les différentes composantes des travaux à mettre en œuvre (phasage, autorisations à prévoir, impacts sur la durée du chantier liés aux différentes législations en vigueur...), et en évaluant les coûts associés à ces différents aspects ainsi qu'à la mise en place d'essais pilotes si nécessaire.



Il a également été défini des scénarios de gestion intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou, ceci afin d'illustrer l'interaction de la combinaison de différentes actions sur plusieurs secteurs et leur impact global en termes de bénéfice environnemental notamment. L'analyse des Bilans Coûts/Avantages (BCA) de chaque scénario intégré retenu a été élaborée à partir d'une matrice d'aide à la décision simplifiée et opérationnelle. Cette dernière phase a aussi permis de qualifier les incertitudes et risques résiduels, en pointant les moyens de lever ces incertitudes et les travaux à réaliser pour limiter ces risques.

La tâche 4 a donc eu pour objectif de mettre en perspective des solutions de gestion envisageables en y intégrant toutes leurs composantes (action sur les sources, sur les voies de transfert, définition des modalités de surveillance et des restrictions d'usage). Ces solutions, dont les effets ont alors été estimés qualitativement, mais aussi quantitativement sur les flux lorsque les données disponibles le permettaient, ont été adossées à une étude des incertitudes résiduelles.

Le présent rapport constitue une synthèse des tâches précitées, objets de rapports ENVISOL spécifiques. Après un rappel des données utilisées, le contexte environnemental du site a permis de préciser la géologie, le fonctionnement hydrogéologique et l'hydrologie du secteur d'étude. Ensuite la caractérisation de chaque secteur d'étude a été présentée permettant d'élaborer un modèle conceptuel pour chaque secteur. Sur cette base, un schéma conceptuel a été construit à l'échelle de la vallée permettant de définir les enjeux et d'effectuer l'estimation des flux d'arsenic sur lesquels les solutions de gestion devront permettre d'agir. Ensuite, des scénarios de gestion ont été étudiés et hiérarchisés au sein d'un bilan coûts-avantages au niveau de chaque secteur, puis au niveau de la vallée. Les dernières parties de ce document présentent une évaluation qualitative des risques résiduels puis une discussion sur les incertitudes résiduelles et leurs éventuelles incidences.

Les normes et textes réglementaires applicables sont présentés en Annexe I.

Annexe 1. Normes et textes réglementaires applicables

2 DONNEES UTILISEES

2.1 Données complémentaires à la présente étude

La présente étude s'est basée sur les données environnementales disponibles, acquises notamment dans le cadre de la surveillance de l'ancien secteur minier et industriel de la vallée de l'Orbiel.

Ces études, menées sur le secteur à l'étude, sont à la fois d'ordre bibliographiques mais également constituées de mesures de terrain ou en laboratoire. L'attention est portée sur le paramètre arsenic. Celui-ci, bien qu'étant naturellement présent sur le secteur, est considéré comme le principal traceur du passif industriel de l'emprise d'étude, compte tenu de sa présence en quantité, liée à sa concentration par les activités passées, et de sa toxicité.

Le tableau en page suivante récapitule les caractéristiques des études et données disponibles.



Tableau 2. Etudes / données disponibles

Etudes	Réalisation et données disponibles	Commentaire / prise en compte
Prédiction des niveaux d'eau après fermeture. Synthèse de l'étude SRK, 1998.	Etablissement du modèle hydrogéologique et prédiction de la remontée des eaux dans la mine	L'interprétation des données hydrogéologiques ont été intégrées à l'étude.
Etude d'ennoyage de l'exploitation minière de Salsigne (Aude) – Prévion de la remontée des eaux et de la qualité des exhaures résiduelles – Recherche de mesures compensatoires. Rapport ANTEA – A31011B de septembre 2003.	L'étude vise à prédire la remontée des eaux et la qualité des exhaures résiduelles selon le niveau d'eau estimé et s'appuie sur des données de traçages en différents points du Grésillou et de l'Orbiel..	L'interprétation des données hydrogéologiques ont été intégrées à l'étude. Modélisation des flux d'As du Grésillou dans l'Orbiel, Point de pertes et de résurgence des traçages.
Suivi de l'ennoyage de la mine d'or de Salsigne à la fin 2007. BRGM/Minélias – DPSM-Salsigne Ennoyage 2007 du 04/07/2008.	L'étude confirme une répercussion des précipitations sur la cote des eaux du réservoir minier en prenant différentes hypothèses	L'interprétation des données hydrogéologiques a été intégrée à l'étude.
Etude de la pollution et des risques présentés par 6 sites miniers acquis par l'Etat et proposition de travaux à réaliser Salsigne (Aude). ICF – Rapport n°AIX/05/063-ID/Phase 2-VP3 de 17/01/2008	Les résultats communiqués sont issus d'analyses in situ par fluorescence X portable (pXRF) sur les secteurs de Nartau et de la verse de Ramèle ainsi que sur les sédiments le long du tracé du Grésillou et jusqu'à la confluence avec l'Orbiel.	Les données historiques issues de l'étude et les données XRF ont permis d'orienter les investigations réalisées par ENVISOL au droit des zones impactées. Les concentrations en As dans les sédiments ont été comparées aux investigations réalisées par ENVISOL.
Suivi de la qualité des eaux superficielles du Grésillou par Minélias depuis 2010	Suivi mensuel au droit de 3 points de prélèvements : Mine 1 (amont Nartau), Mine 1,5 (aval Nartau et amont Ramèle) et Mine 2 (aval Ramèle).	Ces données ont été utilisées pour l'estimation des flux en As.
Concessions de Salsigne et Villanière (Aude) - Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain d'une partie des sites de Salsigne et Nartau – Rapport GEODERIS S 2011/40DE-11LR02218 du 21/03/2011	A partir de la synthèse documentaire des données disponibles sur l'emprise de la zone d'étude, et d'investigations de terrain, les cartes informatives et les cartes d'aléas « mouvements de terrain » de ces anciennes exploitations ont été produites.	Les couches SIG des cartes d'aléas, réalisées par GEODERIS, ont permis la construction de cartes d'aléas par zones d'intérêt.
Elaboration d'un système d'information sur les sols (SIS) sur l'emprise de l'onde de crue de l'Orbiel s'étant produite à l'automne 2018 (données brutes géoréférencées).	Les résultats communiqués sont issus d'analyses in situ par fluorescence X portable (pXRF) sur les sédiments le long du Grésillou.	Les concentrations en As dans les sédiments ont été comparées aux investigations réalisées par ENVISOL.
Etablissement du fond pédogéochimique dans la région de l'ancien secteur minier de Salsigne (Aude)- BRGM -Rapport provisoire - BRGM/RP-70767-FR de Juin 2021	Les résultats sont issus d'analyses : in situ par fluorescence X portable (pXRF) et en laboratoire par ICP-MS et AES après digestion par eau régale.	Les valeurs de comparaison retenues dans cette étude, pour l'arsenic, sont les lignes de base proposées à proximité des contacts entre domaines EGC et à leurs cœurs.



Etudes	Réalisation et données disponibles	Commentaire / prise en compte
<p>MESURES DES DEPOTS ATMOSPHERIQUES SUR L'ANCIEN DISTRICT MINIER ET INDUSTRIEL DE LA VALLEE DE L'ORBIEL (11) : rapports 3020v3.2 et 7020v3.3 (campagnes 1 et 2 de l'étude sur les poussières sédimentables – phase 0)</p> <p>ETUDE DES POUSSIERS ATMOSPHERIQUES DANS LE DISTRICT MINIER DE LA VALLEE DE L'ORBIEL (11) : rapports 10620v2.1 (campagne 1), 0321 v1.1 (campagne 2) et 4021 v2.0 (campagne 3), ainsi que le rapport de synthèse 6521 v1.1</p>	<p>Des mesures de dépôts et une étude des poussières atmosphériques ont été réalisées sur le secteur global des anciens sites miniers de la vallée de l'Orbiel par la société EVADIES dans le cadre du plan d'actions piloté par la Préfecture de l'Aude.</p>	<p>Cette étude a permis d'évaluer la voie de transfert par envol de poussière.</p> <p>Les résultats ont été intégrés dans l'élaboration du schéma conceptuel.</p>
<p>Communication des résultats de l'étude INERIS 2021</p>	<p>Prise en compte des résultats de l'étude EVADIES sur les poussières afin d'évaluer les risques sanitaires via l'inhalation de poussières dans le cadre d'une démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux. Seules les conclusions sont disponibles à ce stade.</p>	<p>Les conclusions de cette étude ont été intégrées au schéma conceptuel.</p>

2.2 Données acquises dans le cadre de la présente étude

Le programme d'investigation a été pensé dans le but de répondre à un double objectif : 1) caractériser en termes de pollution les secteurs d'étude 2) appréhender et évaluer qualitativement et/ou quantitativement les mécanismes de transfert.

Dans le cadre d'une démarche proportionnée, ces investigations se sont intéressées aux zones et aux milieux de transfert les plus sensibles aux conditions extérieures et aux aléas climatiques.

Le tableau ci-dessous rappelle les différentes phases d'investigation réalisées sur les secteurs d'étude et leurs objectifs. Les investigations réalisées, les résultats d'analyses et l'interprétation des résultats des données sont présentés dans le livrable n°3 intitulé « *rapport de tâche 3 : résultats d'investigation et mise à jour du schéma conceptuel* », ENVISOL, Ref. R-KC/CCK-2104-1C.

Les substances recherchées ont été sélectionnées en lien avec la lithologie du secteur d'étude et les éléments relatifs aux activités et installations historiques. Ce présent rapport s'est focalisé principalement sur l'As, principal traceur de la pollution. Par ailleurs, à ce stade de l'étude, les investigations de sol ont consisté en la réalisation de prélèvements surfaciques (2 à 50 cm).

Tableau 3. Investigations réalisées



Phase / stratégie	Milieux investigués	Objectifs	Nombre d'analyses	Paramètres analysés
Campagne de reconnaissance préliminaire qui a permis d'orienter les phases suivantes	<p>Observation des verses.</p> <p>Les sols (inclus les matériaux stériles, résidus), les paléo-sédiments et les sédiments du Grésillou.</p> <p>Les sédiments tout le long du Grésillou et de ses affluents, à intervalle régulier, en période sèche.</p>	<p>Visualiser les zones d'accumulation des sédiments et d'érosion.</p> <p>Qualifier les sources primaires et secondaires et les caractériser chimiquement par des mesures sur site au XRF.</p> <p>Obtenir les données nécessaires pour une analyse géomorphologique des verses.</p> <p>Cartographier, tout le long du Grésillou, les concentrations en arsenic dans les sédiments et d'identifier les zones de fortes concentrations constituant potentiellement les zones de transfert majeures.</p>	<p>Sol (30)</p> <p>Sédiments (108)</p>	<p>Mesures sur site pXRF (Métaux et métalloïdes)</p>
Campagne d'investigation	<p>Les sols (inclus les matériaux stériles, résidus), les paléo-sédiments et les sédiments du Grésillou.</p>	<p>Cibler les zones à fortes teneurs en arsenic, zones de faciès caractéristiques, zones ayant accueilli une activité, zones d'accumulation de sédiments (paléo-sédiments) et zones d'érosion.</p> <p>Prélever les échantillons pour les analyses spécifiques permettant de qualifier les potentiels transferts et caractériser les sources.</p>	<p>Sol (300)</p> <p>Paléo-sédiments (6)</p> <p>Sédiments (35)</p>	<p>Mesures sur site pXRF</p> <p>ICP-MS/AES (Métaux)</p> <p>Analyses granulo chimiques</p> <p>DRX</p> <p>Extractions séquentielles</p>
Campagnes de suivi mensuelles des eaux superficielles et souterraines 2020	<p>Les eaux superficielles du Grésillou et les eaux souterraines accessibles depuis les puits cheminée panneau sud.</p>	<p>Caractériser chimiquement les eaux superficielles du Grésillou et évaluer les paramètres hydrauliques (débit, pertes, résurgences).</p> <p>Appréhender les transferts chroniques depuis les sources vers les eaux superficielles du Grésillou et leur impact en aval.</p>	<p>Eaux superficielles (250)</p> <p>Eaux souterraines (8)</p>	<p>Paramètres physico-chimiques</p> <p>ICP-MS/AES</p> <p>Anions majeurs</p> <p>Cations majeurs</p> <p>COD/MES</p>



Phase / stratégie	Milieux investigués	Objectifs	Nombre d'analyses	Paramètres analysés
Campagnes de suivi mensuelles des sédiments	Les sédiments en eau au droit de 7 stations de prélèvements des eaux superficielles le long du Grésillou jusqu'à sa confluence avec l'Orbiel.	Caractériser chimiquement et qualifier la variabilité des concentrations le long du Grésillou. Appréhender les flux de transfert liés aux sédiments (flux particulaire, flux du Grésillou vers les milieux d'exposition)	Sédiments (100)	ICP-MS/AES Cations majeurs
Suivi des précipitations	Installation d'un pluviomètre en bordure du Grésillou.	Appréhender et qualifier les flux lors d'évènements pluvieux.	-	-
Prélèvements lors d'évènements pluvieux significatifs	Installation de 3 préleveurs automatiques au droit des eaux superficielles du Grésillou lors d'évènement pluvieux significatif (>30 mm sur une journée). Les évènements pluvieux suivis sont : - entre le 14 et 16 décembre 2020 ; - entre le 30 janvier et le 02 février 2021.	Appréhender et qualifier les flux de transfert lors d'évènements pluvieux significatifs.	Eaux superficielles (184)	ICP-MS/AES Anions majeurs Cations majeurs COD/MES



3 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

3.1 Contexte géologique

3.1.1 *Contexte régional*

D'un point de vue structural et au regard des formations en présence, la géologie de la zone d'étude est complexe. La Figure ci-après présente une coupe géologique synthétique passant par l'Orbiel, à proximité de la zone d'étude et sa localisation sur la carte géologique au 1 / 50 000 (source BRGM).

Elle permet de mettre en évidence :

- Sp : Groupe de Saint Pons-Cabardès ou « Schiste X » (Cambro-Ordovicien) chevauchés du nord au sud par la nappe du Nord-Minervois et la nappe du Minervois.
- Srk : Groupe du Roc Suzadou (Ordovicien supérieur) : conglomérats, grès et quartzites
- d1 : Séries carbonatées du Dévonien constituée de Grés, calcaschistes et calcaires
- k3 : Calcaires marmoréens et schistes à Paradoxides (Cambrien moyen) : pélites vertes et rouges (non présent sur la zone d'étude)
- k2 : Alternance grés-carbonatées à archéocyathes et trilobite/ Calcaires dolomitiques - (Cambrien inférieur) - synclinal
- k1 : Grès de Marcory, grès feldspathiques et pélites verdâtres (Infracambrien – Cambrien inférieur) – synclinal

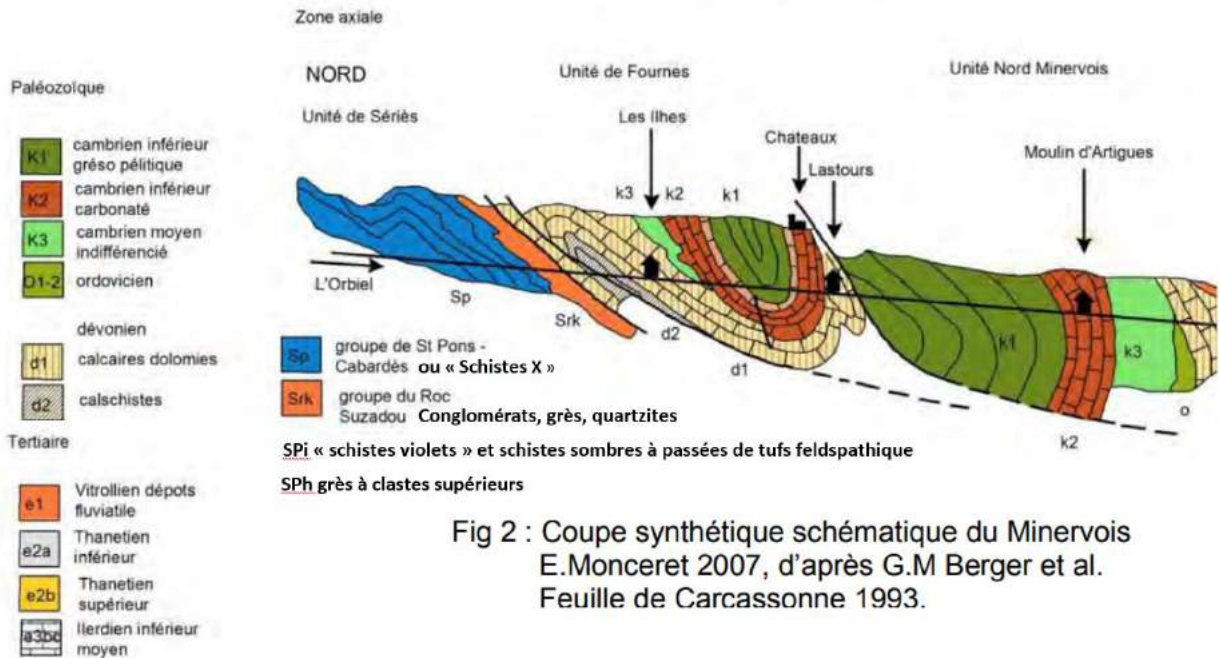
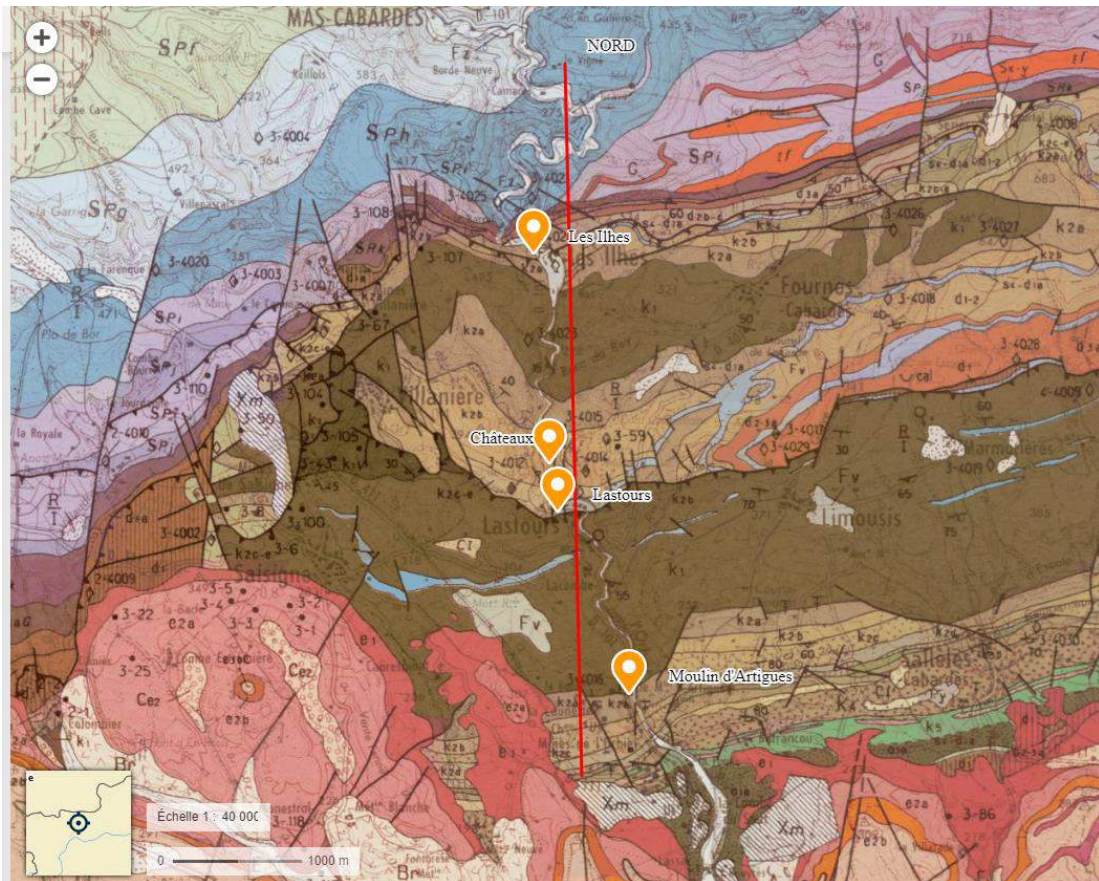


Fig 2 : Coupe synthétique schématique du Minervois E.Monceret 2007, d'après G.M Berger et al. Feuille de Carcassonne 1993.

Figure 4. Carte et coupe synthétique schématique du Minervois passant par l'Orbiel

La figure ci-dessous présente un log stratigraphique (issu de l'étude Antea de 2003) permettant de visualiser les différentes formations. A noter que les termes utilisés font référence à une ancienne classification.

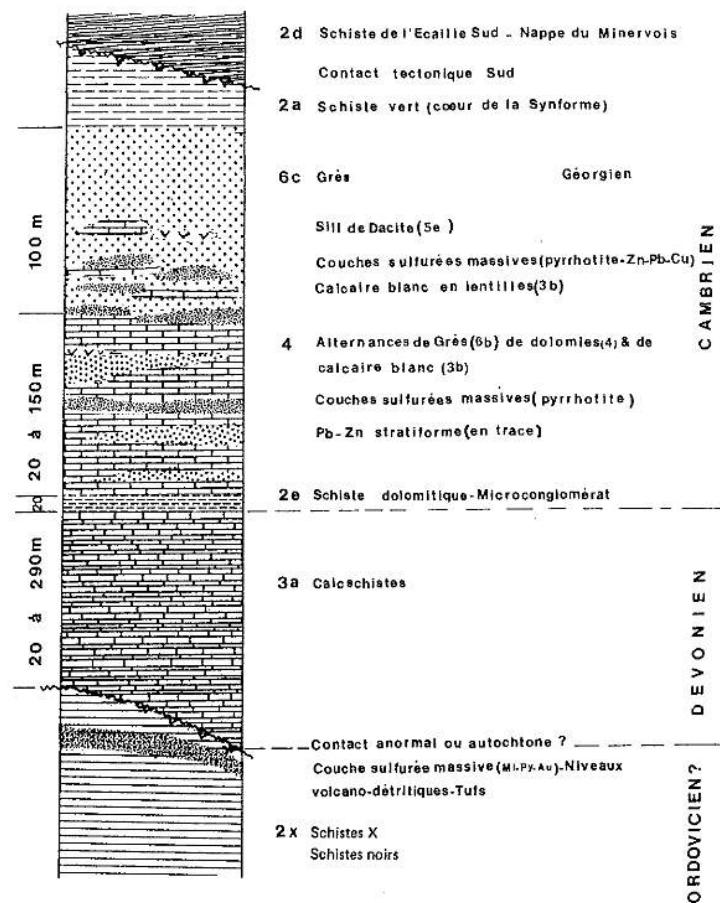


Figure 5. Coupe schématique verticale des terrains regroupés dans la mine de la surface au fond (ANTEA, 2003)

3.1.2 Contexte local – Sites d'études

Les sites d'étude sont localisés dans la vallée très encaissante du Grésillou. Localement les interfaces entre les différentes unités sédimentaires sont le siège de surfaces de glissement (i.e. plans de faille). C'est le cas du contact k1/k2a au droit de la verse de Ramèle qui est repris par la faille dite 420 dont le pendage est de 80° vers le SE (Méloux, 1980). Cette faille 420 ne semble pas se prolonger au NE de Ramèle et semble être décalée plus au nord par un décrochement SSE-NNO qui passe à l'ouest de la verse de Nartau (Berger G.M., 1993).

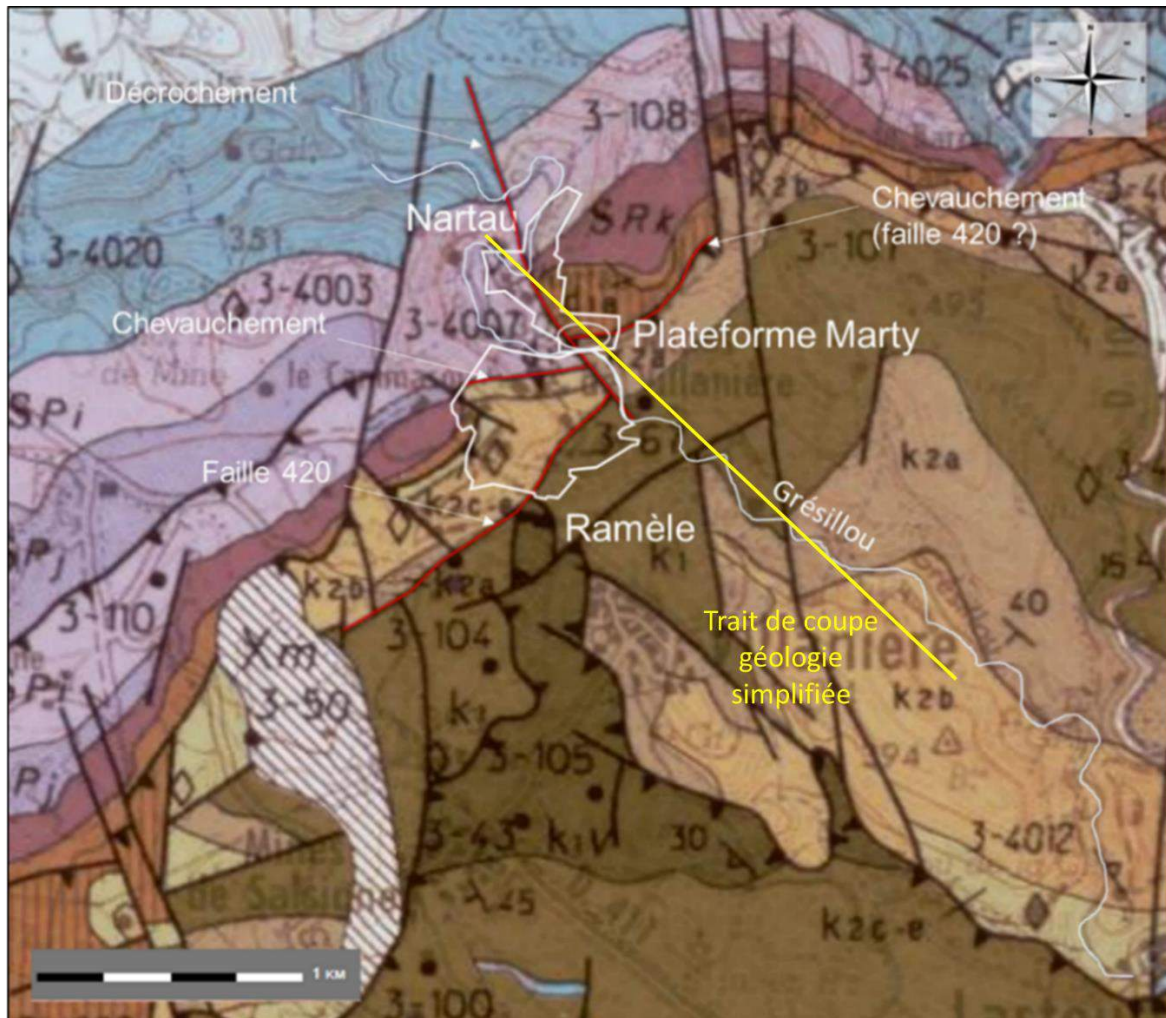
La verse de Nartau se situe en rive gauche du Grésillou. Celle-ci est constituée d'un socle schisteux compact affleurant en certains endroits, notamment en partie haute en amont de la verse. Un réseau de failles d'orientation NNO-SSE à pendage vers le sud traverse le site. En partie basse et vers le nord, le site repose sur des schistes violets (Schiste X ou Groupe de Cabardès). En partie est, sur le haut du versant sud, les formations du dévonien constituées de grès et calcschistes (d1a) sont rencontrées. Au sommet du versant nord, des conglomérats, grès et quartzites du groupe de Roc Suzadou (SRk) sont mis en évidence.



















La plateforme Marty, également en rive gauche, est quant à elle localisée à une intersection entre les formations du Dévonien et une formation alternant grès-carbonatés et dolomies. Cette discontinuité structurale constituerait la faille 420 (faille chevauchante).



La verse de Ramèle, est située en rive droite sur des terrains composés des grès de Marcory, (alternance gréso-carbonatées) et de calcaires dolomitiques du Cambrien inférieur. La zone est recoupée par plusieurs failles NNO-SSE et leurs conjuguées OSO-ENE.

La figure ci-dessous présente la localisation des sites d'étude sur fond de carte géologique au 1/50 000 (BRGM – Feuille n°1037 Carcassonne) ainsi qu'une coupe géologique simplifiée le long du Grésillou.



 d1a Lochkoven inférieur probable. Grès et calcschistes	 k2c-e Cambrien inférieur indifférencié
 d1aC Base du Dévonien. Formation de Cumiès : schistes noirs	 k2b Cambrien inférieur. Calcaires dolomitiques à archéocyathes
 SRk Ordovicien supérieur-Silurien probable. Conglomérats, grès, quartzites	 k2a Cambrien inférieur. Alternance gréso-carbonatées à archéocyathes et trilobites
 SPj Cambro-Ordovicien probable. Schistes sombres	 k1 Infracambrien-Cambrien inférieur. Grès de Marcory, grès feldspathiques et pélites verdâtres
 SPj(tf) Cambro-Ordovicien probable. Schistes sombres, passées de tufs feldspathiques	 k1(1) Infracambrien-Cambrien inférieur. Grès de Marcory, pélites et grès à niveaux calcaires
 SPi Cambro-Ordovicien probable. "schistes violets"	 k1v Infracambrien-Cambrien inférieur. "Calcschistes noirs de Villanière"
 Spi(G) Cambro-Ordovicien probable. "schistes violets", niveau de grès sombres	 d3a(MN) Emsein inférieur probable. Zone axiale de la Montagne Noire. Calcschistes clairs à muscovite
 SPH Cambro-Ordovicien probable. Grès à clastes supérieurs	 d2b-c Praguien moyen et supérieur probable. Calcaires gris clair
 SPg Cambro-Ordovicien probable. Schistes noirs et grès à clastes inférieur, schistes rubanés monotones	 d1b-2a Lochkoven supérieur-Praguien inférieur probable. Calcaires sombres

Source :
Carte géologique Carcassonne
(1/50 000)

Carte Géologique de la zone d'étude
Site de Nartau et Verse Ramèle - BRGM - Salsigne



Dernière mise à jour : 13/02/2020

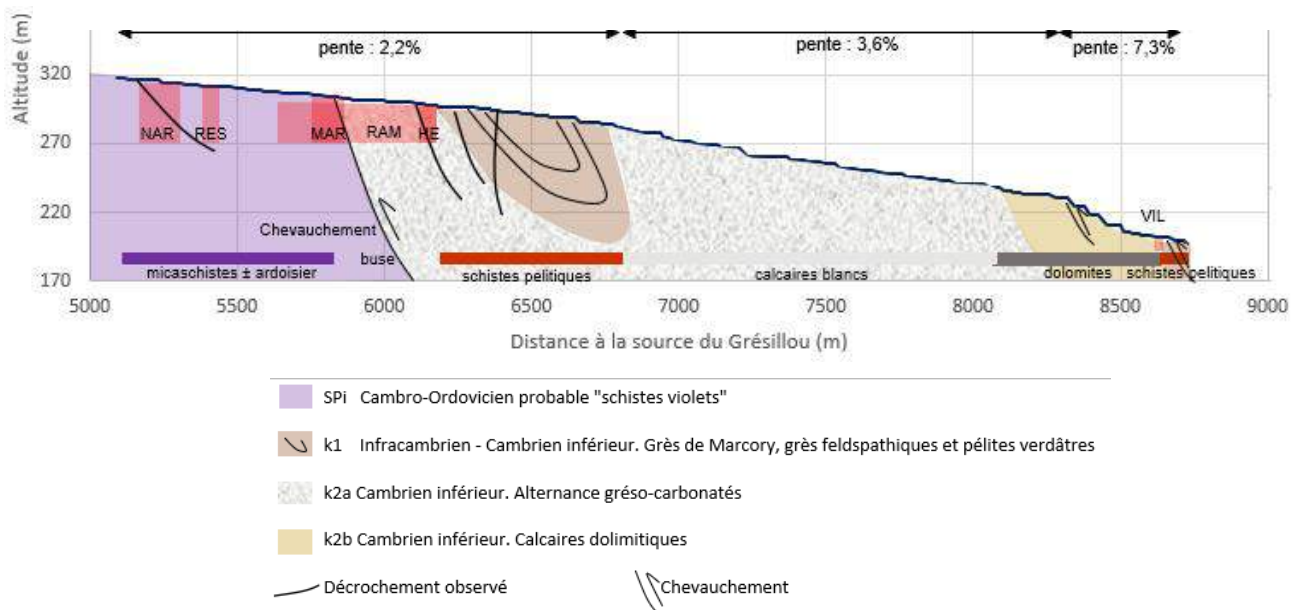


Figure 6 : Carte géologique (modifiée du BRGM) et coupe géologique simplifiée le long du Grésillou (ENVISOL) (NAR = Nartau, RES = zone de résidus de four, MART = plateforme Marty, RAM = Ramèle, HE = Hort Estiou, VIL = Villanière) (ENVISOL)

3.2 Hydrogéologie

Le contexte hydrogéologique régional et local a pu être appréhendé en combinant l'analyse des données issues de la bibliographie et les investigations de terrain.

3.2.1 Contexte régional

De manière générale, l'aquifère principal de la région est constitué par les calcaires cambriens du Minervois. Ces derniers sont fortement plissés et faillés avec des indices de karstification prononcés.

L'exploitation de la MCO a permis de mettre en évidence la présence d'eau souterraine ayant nécessité la mise en œuvre jusqu'en 2004 de pompes allant jusqu'à 600 m³/h afin de stabiliser le niveau d'eau à 160 m NGF. Suite à l'arrêt du pompage, le niveau d'eau est remonté et oscille entre 240 et 280 m NGF.

A l'exception de ce niveau de base, dont l'écoulement global se ferait en direction de l'Orbiel, il n'existe pas d'autre aquifère au sein des formations en présence. En effet, les capacités aquifères du socle schisteux sont faibles voire inexistantes. Cependant, les pendages et la fracturation à la fois au sein des schistes grès et calcaires favorisent les circulations souterraines. Ceci se traduit le long du Grésillou par de nombreuses pertes et une absence de nappe d'accompagnement.

La fracturation/fissuration des formations au niveau régional associée aux pendages et à une intense karstification des calcaires cambriens met en évidence des relations complexes entre les différentes unités à potentiel aquifère très variable. De plus, l'activité minière, à travers la réalisation de galeries au sein de formations supposées imperméables a favorisé les connexions hydrauliques.



3.2.2 *Contexte local*

Au niveau local, le contexte hydrogéologique est précisé pour les zones suivantes :

- Grésillou
- Réservoir minier
- Verse de Nartau
- Verse de Ramèle

3.2.2.1 *Le Grésillou*

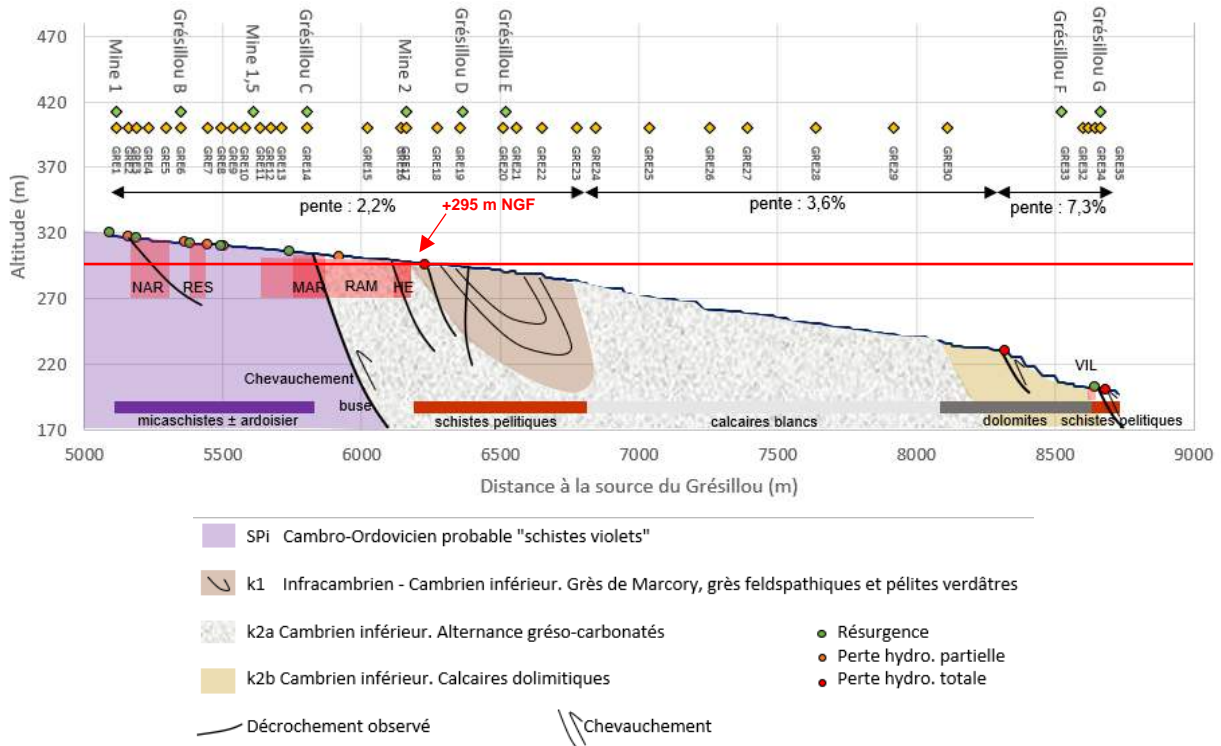
La partie amont du Grésillou ne comporte pas de nappe d'accompagnement au regard du socle imperméable et schisteux au droit duquel il circule. Toutefois, la présence de formations karstiques sous-jacentes à la verse de Ramèle et la géologie faillée du secteur peut induire des connexions hydrauliques en profondeur. Une étude d'ennoyage comprenant des essais de traçage a été réalisée par Antea en 2003. Cette étude met en évidence une connexion hydraulique préférentielle entre le Grésillou (perte en aval de la verse de Ramèle, + 295 m NGF) et l'eau du fond de la mine au niveau - 64 m NGF. Les pertes du Grésillou, en corrélation avec les structures décrochantes et la faille 420 qui recoupent toute la zone, semblent alimenter la zone noyée du réservoir minier.

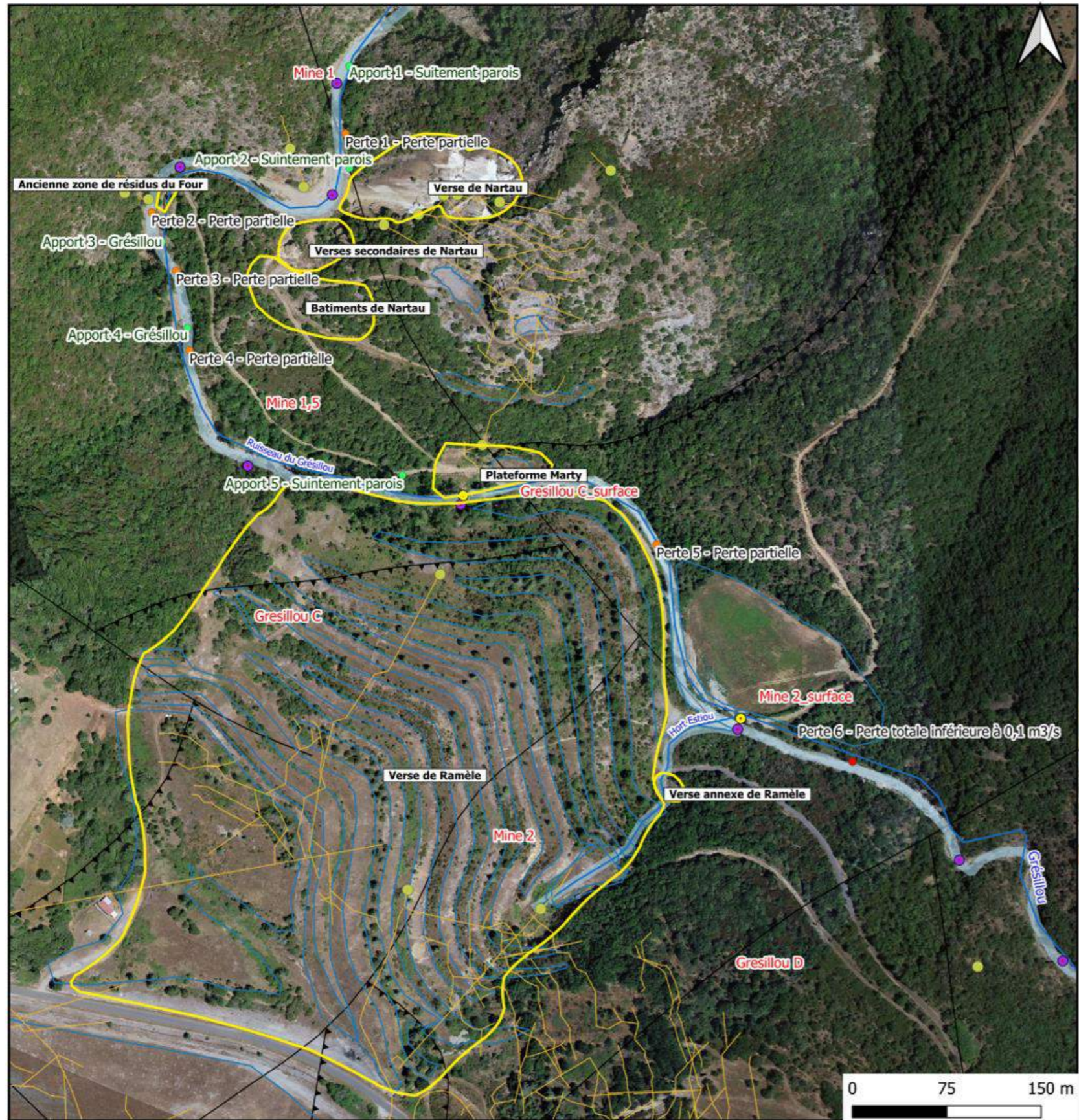
Des investigations complémentaires réalisées le long du Grésillou par ENVISOL ont permis de localiser les pertes et les résurgences de faible débit sur paroi (suintements) liés à des circulations de subsurface (figure 8). L'ensemble de ces observations a été repositionné sur la coupe géologique simplifiée du Grésillou (Figure 7) et sur une cartographie de la zone, où l'encaissant au droit de chaque perte et suintements a été précisé (Figure 8).

Les principales observations sont les suivantes :

- suintements et perte partielle en amont de la station Mine 1 et jusqu'au Grésillou C soit en amont de Nartau et proche de l'ancienne zone de résidus de four ;
- un suintement observé à proximité de la plateforme Marty ;
- suintements Mine 2, Grésillou D et E en aval de Ramèle (Antea, 2003) ;
- suintement également observé à la confluence du ruisseau de la Villanière et du Grésillou, juste en rive droite du Grésillou à quelques mètres avant la station Grésillou G ;
- une perte partielle hydraulique observée entre la partie amont et aval de la zone busée ;
- perte totale des écoulements de surface du Grésillou observée en aval de la station Mine 2 en aval de la verse de Ramèle (juillet 2020) correspondant à la perte mise en évidence par traçage à la cote +295 mNGF, connexion Grésillou vers le réservoir minier (Antea, 2003) ;
- perte totale également présente en amont des stations Grésillou F et G (février 2021).

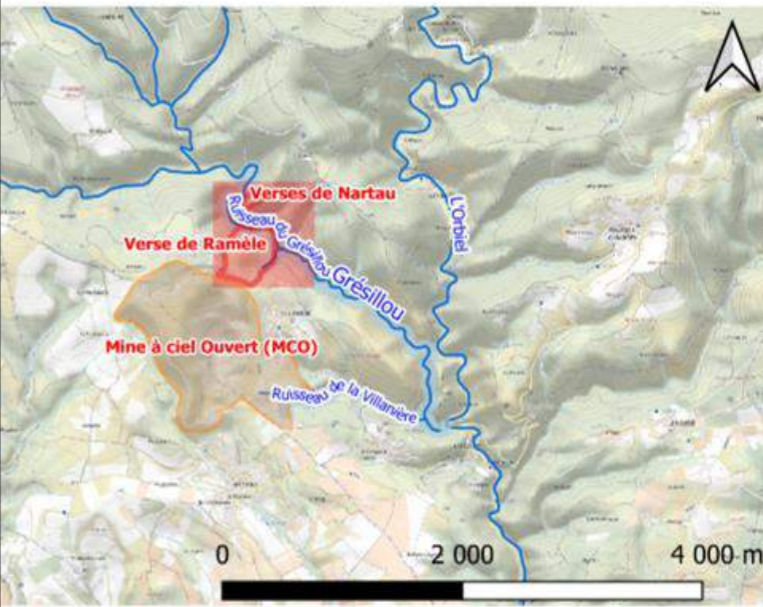
A noter que les pertes totales correspondent à des zones de décrochement.





Légende :

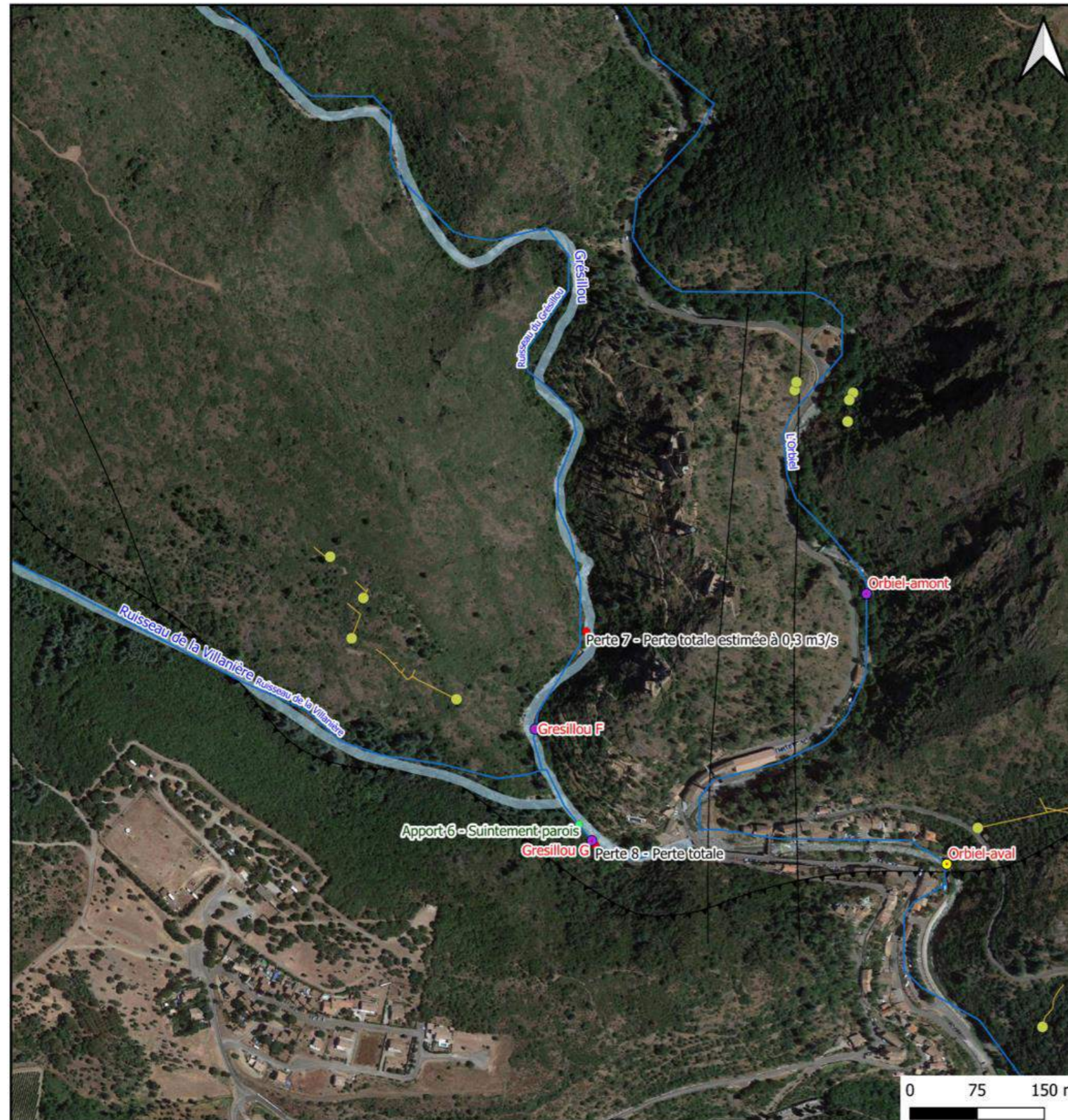
- Investigations
 - Zones d'intérêt
 - Zone étude Grésillou
- Station de suivi des eaux superficielles (ENVISOL, 2020)
 - eaux surfaces et sédiments (MES)
 - eaux surface
- Hydrogéologie
 - Zone d'infiltration des eaux de surface
- Observations hydrogéologiques
 - Perte hydraulique partielle
 - Perte hydraulique totale
- Résurgence
 - Résurgence
- Reseau hydrographique du bassin versant du Grésillou
 - Reseau hydrographique du bassin versant du Grésillou
- Site d'étude - Installations
 - Galeries souterraines
 - Ouvrage débouchant au jour (ODJ)
- Structures géologiques (Carte géologique Carcassonne 1:50 000 ème)
 - Faille observée
 - ▲ Chevauchement varisque de la Montagne noire et du Minervois, observé



Dernière modification : 05/01/22

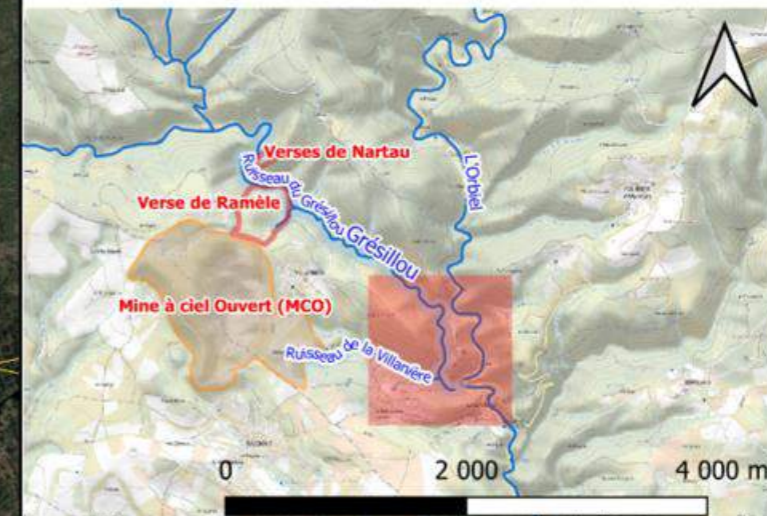
Version : b

Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verses de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Cartographie hydrogéologique



Légende :

- Zone étude Grésillou
- Station de suivi des eaux superficielles (ENVISOL, 2020)
 - eaux surfaces et sédiments (MES)
 - eaux surface
- Hydrogéologie
 - Observations hydrogéologiques
 - Perte hydraulique totale
 - Résurgence
 - Réseau hydrographique du bassin versant du Grésillou
 - L'Orbiel
- Site d'étude - Installations
 - Galeries souterraines
 - Ouvrage débouchant au jour (ODJ)
- Structures géologiques (Carte géologique Carcassonne 1:50 000 ème)
 - Faille observée
 - ▲ Chevauchement varisque de la Montagne noire et du Minervois, observé



Dernière modification : 05/01/22

Version : b

Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Cartographie hydrogéologique

Figure 8. Localisation des pertes et résurgences observées au cours des investigations de terrain

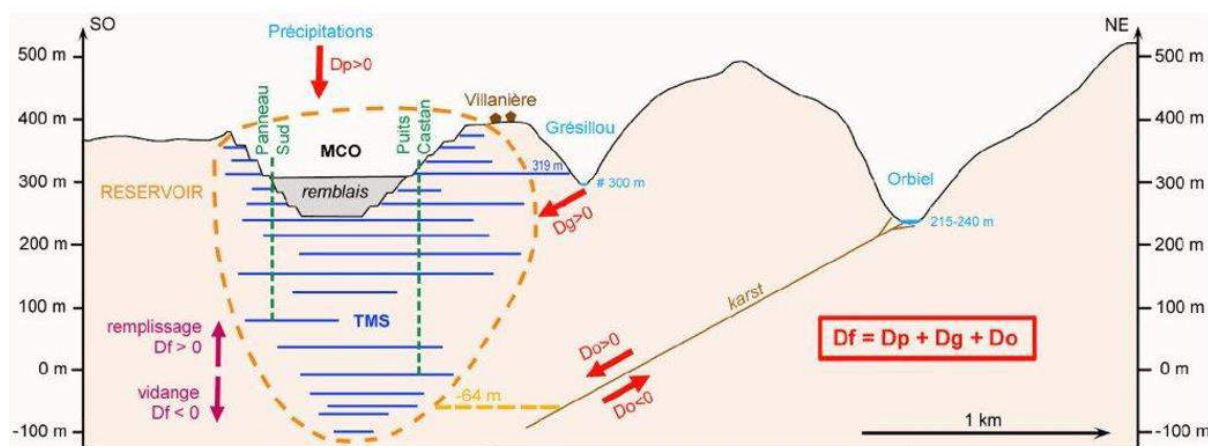


3.2.2.2 Réservoir minier

Le réservoir minier a fait l'objet de nombreuses études visant à appréhender les connexions hydrauliques entre la mine (potentielle source de pollution), l'Orbiel et le Grésillou notamment :

- la connexion entre le fond de la mine à -64 m NGF et l'Orbiel entre 215 et 240 m NGF au travers d'un drain karstique ;
- la connexion entre le Grésillou et le réservoir minier au travers de la perte constatée à la cote +295 m dans le Grésillou ;
- la connexion par débordement potentiel des eaux du réservoir minier à la cote de + 319 m NGF au travers de la Galerie Marguerite située au niveau de l'avant verse de Ramèle.

La Figure 9 présente le modèle des échanges entre la mine et son environnement et met en évidence les connexions hydrauliques observées.



1 Représentation schématique du modèle des échanges hydrauliques entre la mine et son environnement

Coupe de principe de direction approximative SO-NE, avec projection des puits et des galeries.
MCO : Mine à Ciel Ouvert
TMS : Travaux Miniers Souterrains
Df : Débit d'échange final
Dp : Débit des précipitations (apport)
Dg : Débit du Grésillou (apport)
Do : Débit de l'Orbiel (apport >0, vidange <0)

Figure 9. Modèle des échanges entre la mine et son environnement (Minélias, 2006)

Les études d'envoyage permettant d'anticiper un éventuel débordement des eaux de la mine dans le Grésillou aux cotes + 295 m NGF (perte du Grésillou) et + 319 m NGF (avant verse de Ramèle) font les conclusions suivantes :

- pour les moyennes eaux, la cote devrait se stabiliser autour de + 280 m NGF pour un débit pompé de l'ordre de 60 m³/h ;
- pour les hautes eaux, la cote de +310 m NGF devrait être dépassée et le niveau de la galerie Marguerite à + 319 m NGF devrait servir d'exutoire vers le Grésillou avec un débit de l'ordre de 124 m³/h, le débit des eaux souterraines représentant 149 m³/h.

Concernant le suivi des eaux souterraines, il existe actuellement un seul point d'accès aux eaux souterraines nommé « cheminée panneau sud », situé sur la Figure 3. Ce dernier permet de suivre le niveau la qualité des eaux du réservoir minier depuis 2010 (suivi par Minélias). Les données historiques permettent de suivre le niveau d'eau depuis 2004. Le niveau moyen du réservoir minier s'établit à environ 261 m NGF.



Il est important de préciser que lors de la crue exceptionnelle d'octobre 2018, la cote de 278,18 m NGF a été atteinte dans le réservoir minier. Cette cote maximale est inférieure à celle de la connexion hydraulique entre le Grésillou et la mine (+ 295 m NGF). Par conséquent, le Grésillou n'agit actuellement pas comme un drain du réservoir minier. Un éventuel blocage des conduits karstiques, dû par exemple aux précipitations des carbonates ou colmatage, pourrait entraîner une remontée du niveau de la mine et le Grésillou passerait alors en situation de drainage.

L'analyse des données acquises par ENVISOL sur l'année 2020 a permis de montrer que les eaux du réservoir minier sont beaucoup plus minéralisées que les eaux de surface du Grésillou. Cette observation est confortée par le suivi de la société Minélic depuis 2010 (conductivité, concentration en arsenic et niveau d'eau). Depuis cette date, il apparaît que les valeurs de conductivité des eaux du réservoir minier évoluent dans le temps au gré des fluctuations du niveau d'eau au sein du réservoir : plus le niveau d'eau augmente dans le réservoir, plus la conductivité baisse et plus les concentrations en arsenic au sein du réservoir diminuent (anti-corrélation).

En 2020, les concentrations moyennes en arsenic total et dissous sont respectivement de 0,050 mg/l et 0,037 mg/l mesurées au niveau de la Cheminée Panneau Sud, représentative de la qualité des eaux du réservoir minier, soit une proportion d'arsenic particulaire de 26%. Pour cette station, les valeurs de concentrations en arsenic varient peu au cours de l'année 2020 à l'exception du mois d'avril où la concentration en arsenic mesurée est inférieure à la limite de quantification. Le suivi opéré entre 2012 et 2021 montre une baisse progressive des concentrations en As en lien avec le niveau des eaux (plus élevé en 2021).

Finalement, il est important de noter que les eaux échantillonnées au niveau de la station Grésillou G (localisé sur la figure 8) présentent un faciès hydrochimique similaire à celui des eaux du réservoir minier montrant ainsi une connexion hydraulique directe.

Les données recueillies par ENVISOL en 2020 sont cohérentes avec les données du suivi Minélic.

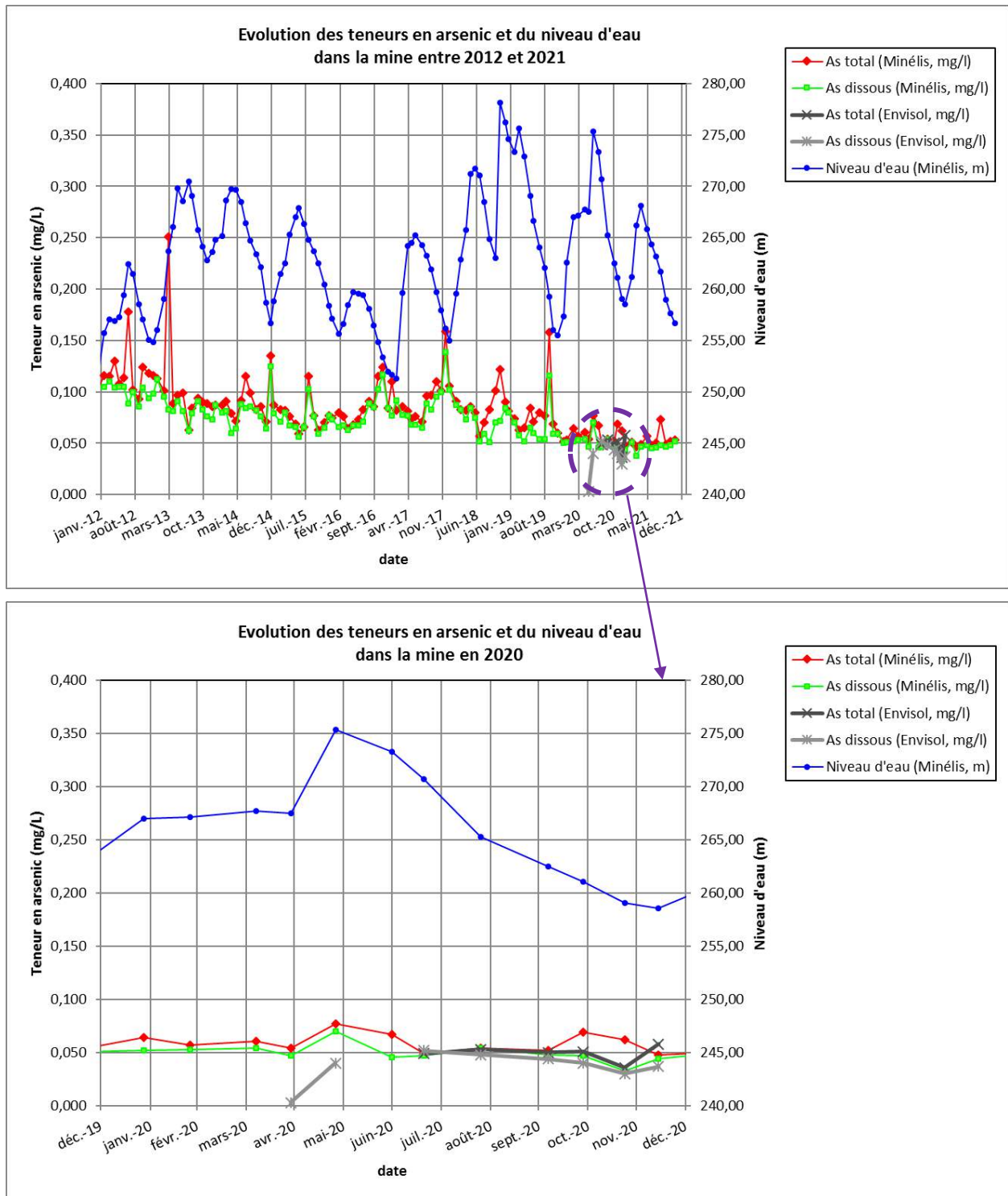


Figure 10. Evolution des teneurs en arsenic entre 2012 et 2021 (données Minélias et ENVISOL)



3.2.2.3 Verse de Nartau

Au niveau du site de Nartau, la présence du socle schisteux imperméable et sa topographie pentue tendent vers l'hypothèse d'écoulements de sub-surface dus à l'infiltration au travers des couches superficielles altérées schisteuses avec une part importante d'eaux ruisselées vers le Grésillou (ICF, 2007). L'épaisseur de stériles miniers laisse supposer de faibles circulations avec une part majeure de ruissellement. Les suintements recensés en bas de verse proviennent probablement de ces circulations de subsurface et des éventuelles retenues constituées par les gabions (mis en place en 2015 pour stabiliser le pied de verse vis-à-vis du Grésillou). A noter qu'il existe des circulations d'eau dans l'encaissant au travers des grès et schistes avec une migration vers les couches plus profondes en fonction de la fracturation et de la stratification. Aucune galerie ne débouche directement dans les matériaux de la verse de Nartau, mais celles à proximité peuvent recouper les écoulements de sub-surface et ainsi favoriser une circulation des eaux au travers de l'encaissant fracturé.

3.2.2.4 Verse de Ramèle

Le cadre hydrogéologique de la verse de Ramèle semble complexe. Il est possible d'avoir suite à l'infiltration des eaux à travers les stériles miniers, des écoulements souterrains de sub-surface vers le Grésillou et des écoulements plus profonds par le biais des galeries souterraines (ICF, 2007). Les nombreuses galeries au droit de la verse de Ramèle peuvent alors créer des cheminements d'eaux préférentiels vers le Grésillou.

Il existe donc :

- un phénomène de ruissellement en surface ;
- des écoulements de subsurface au sein des stériles miniers pouvant être recoupés par les galeries minières (galerie Marguerite notamment) ;
- des circulations dans l'encaissant via un réseau de fractures/fissures pouvant atteindre le réservoir minier.

Par ailleurs, des écoulements préférentiels sont possibles le long de l'ancien talweg (topographie originelle) dans lequel circulait autrefois l'Hort Estiou pour rejoindre le Grésillou.

3.2.3 Schéma conceptuel

Le fonctionnement hydrogéologique proposé reprend les éléments antérieurs, notamment l'étude d'envoyage d'ANTEA 2003, les schémas hydrogéologiques proposés par SRK 1998 et Minélis 2006 et en complément des éléments apportés par la présente étude.

Les figures 11 et 12 présentent les schémas conceptuels au droit de Ramèle et Nartau. La cartographie en figure 13, replace les observations de terrain et les hypothèses du fonctionnement hydrogéologique du secteur.

Au regard des éléments disponibles, le fonctionnement hydrogéologique repose sur les éléments suivants :

- aucune nappe d'accompagnement n'a été identifiée pour **le Grésillou** ;
- **le Grésillou** reçoit l'eau des verses, sources potentielles de pollution, par ruissellement et écoulement de sub-surface sur sa partie amont ;



- le **Grésillou** se trouverait en position de drainage des eaux du réservoir minier sur sa partie amont (en aval direct de Ramèle) uniquement dans le cas où les eaux de la mine atteindraient la cote +319 m NGF. Cette cote n'a jamais été atteinte depuis la fermeture de l'exploitation. Les niveaux d'eaux souterraines se stabilisent à la cote 260 m NGF au niveau du point d'accès au réservoir minier (cheminée panneau sud) ;
- le **Grésillou** présente des pertes successives en aval (de la zone busée ; Mine 2) vers une zone noyée de la mine dont les directions d'écoulement sont principalement régies par le toit des schistes à pendage sud ;
- le **Grésillou** rejoint rarement en surface l'Orbiel au niveau du village de Lastours en période de basses eaux. Il atteint l'Orbiel en période de pluie significative et de crue.
- au niveau du **site de Nartau**, il existe probablement un partage entre le ruissellement et les écoulements de sub-surface. Aucune galerie ne débouche directement dans les matériaux de la verse de Nartau mais celles à proximité peuvent recouper les écoulements de sub-surface et ainsi favoriser une circulation des eaux au travers de l'encaissant fracturé.
- au niveau de la **verse de Ramèle**, la part d'infiltration est plus importante que pour le site de Nartau. Des écoulements souterrains de sub-surface se font vers le Grésillou tout comme les écoulements plus profonds via les galeries souterraines (galerie Marguerite notamment). La part des eaux transitant via les galeries souterraines reste inconnue. Il existe également des circulations dans l'encaissant rejoignant la mine via le réseau de fractures/fissures ;
- **les eaux du réservoir minier** sont vraisemblablement alimentées par les eaux infiltrées, qui se chargent en métaux et métalloïdes, au droit des anciennes exploitations et les résurgences de ces eaux seraient visibles en amont de la confluence du Grésillou et de l'Orbiel. Cela est en cohérence avec le profil sulfaté-calcique des eaux de Grésillou G (après résurgence) comme celles de cheminée panneau sud.

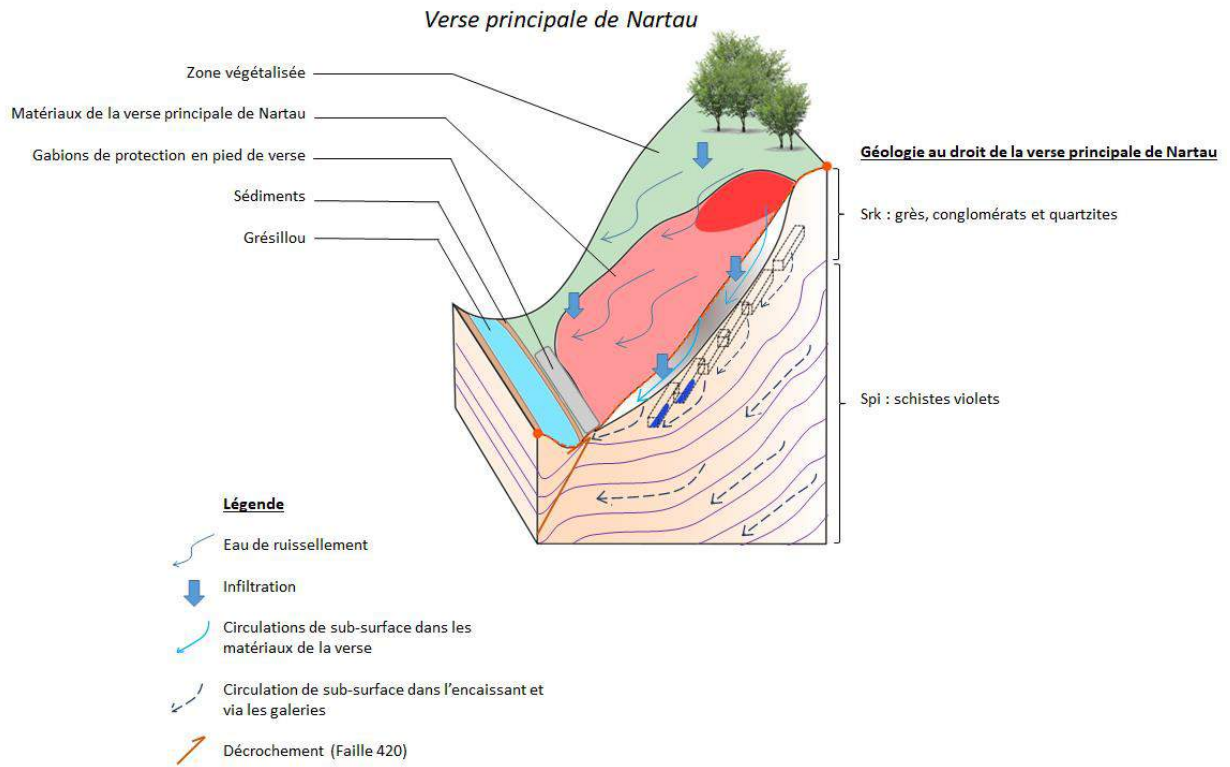


Figure 11. Schéma hydrogéologique verse de Nartau

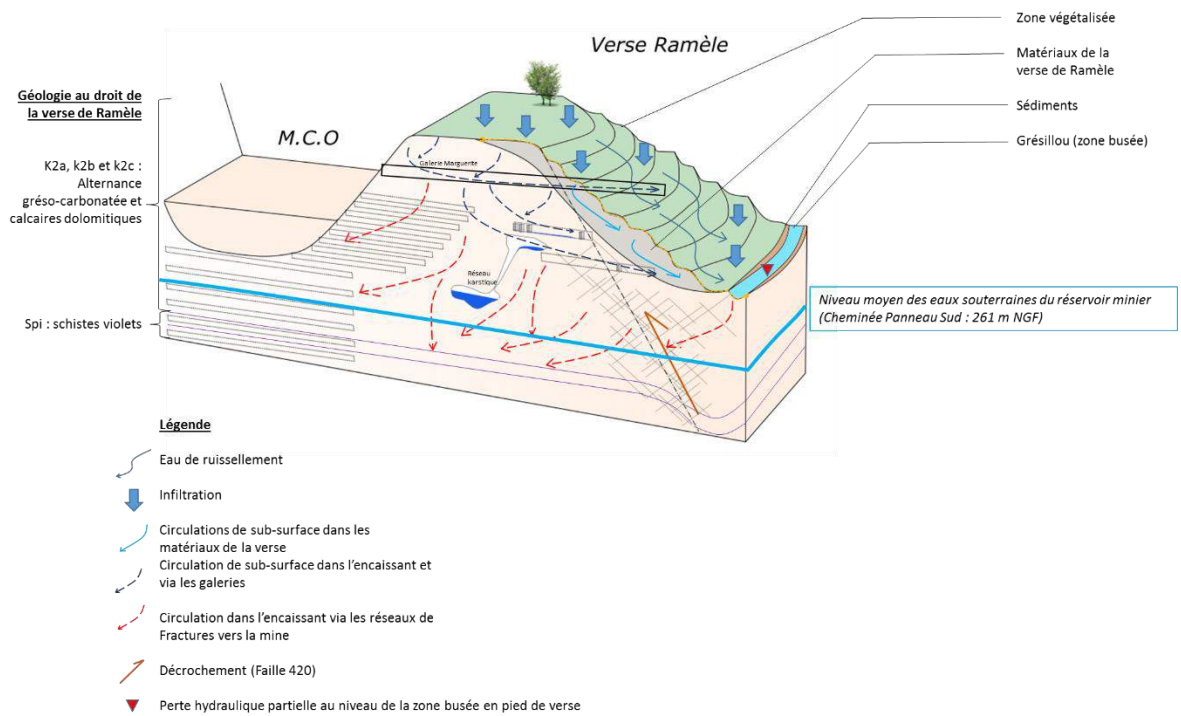
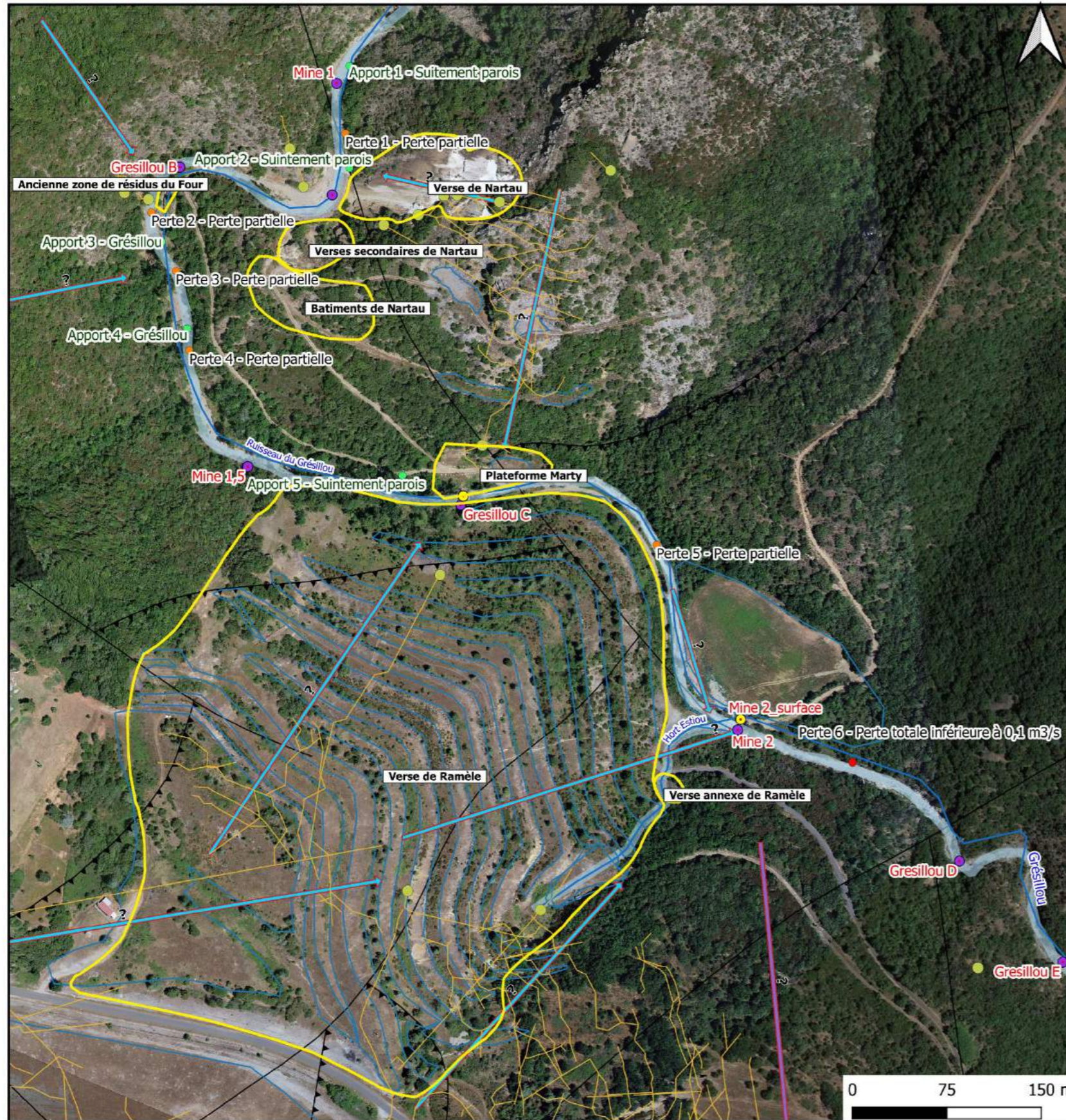
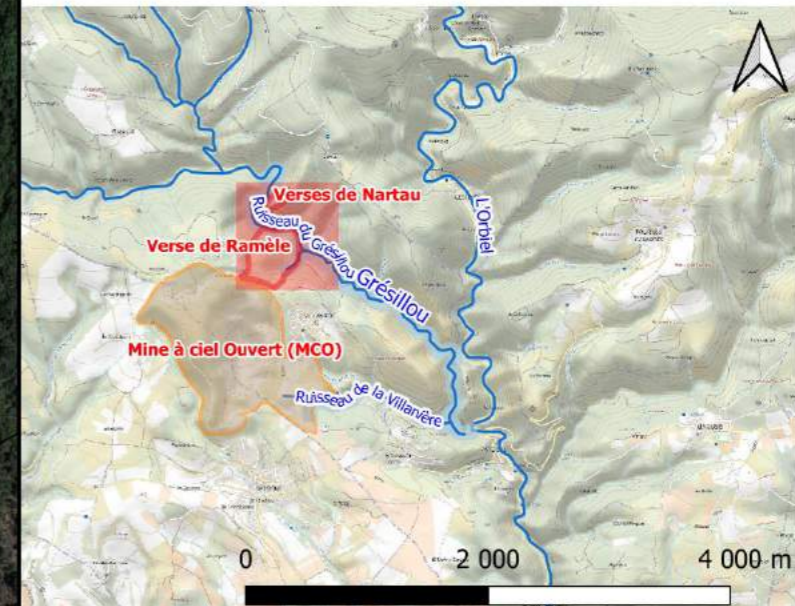


Figure 12. Schéma hydrogéologique verse de Ramèle



Légende :

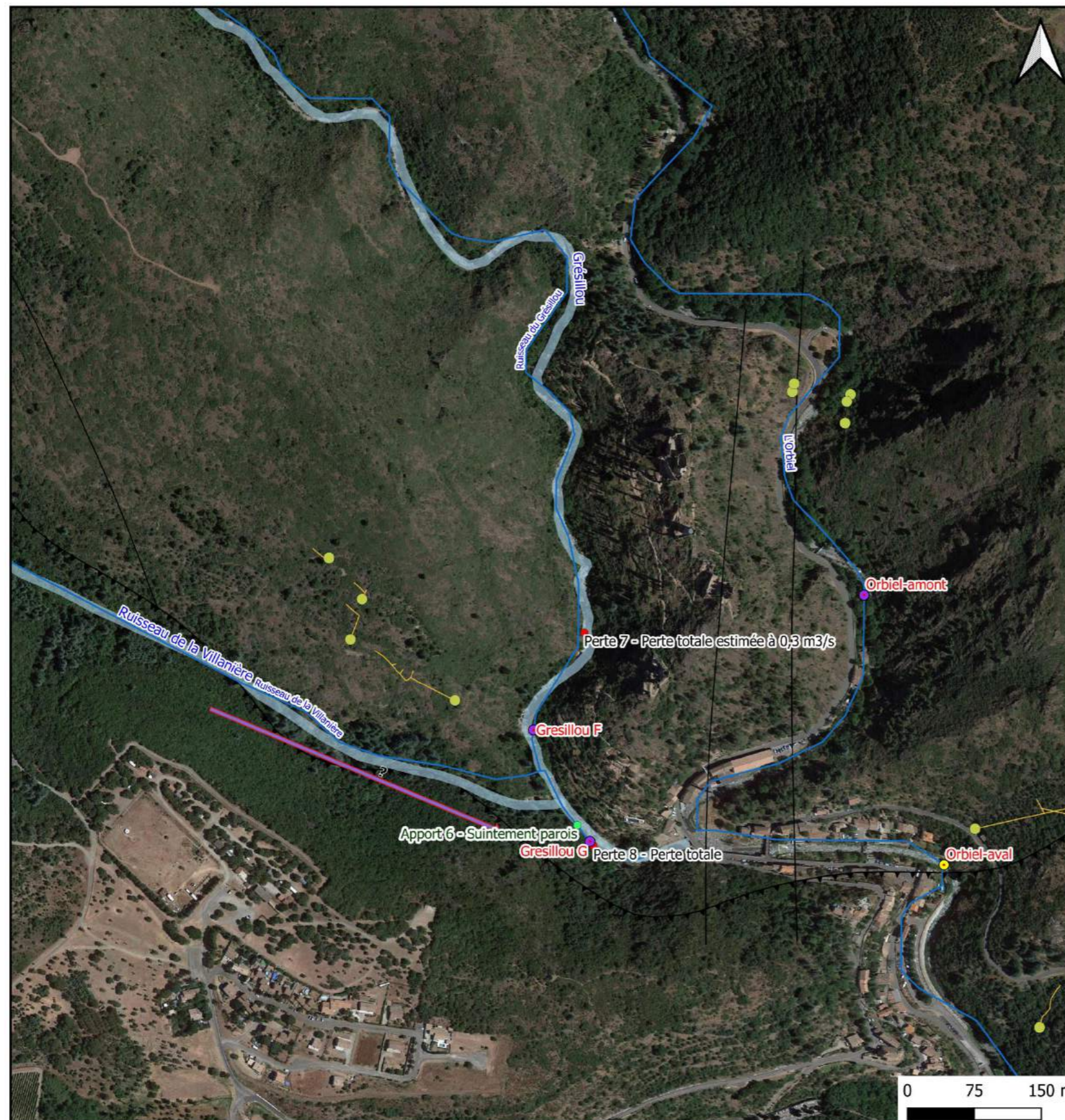
- | | |
|---|---|
| Investigations | Observations hydrogéologiques |
| □ Zones d'intérêt | ● Perte hydraulique partielle |
| ▬ Zone étude Grésillou | ● Perte hydraulique totale |
| Station de suivi des eaux superficielles (ENVISOL, 2020) | ● Résurgence |
| ● eaux surfaces et sédiments (MES) | ▬ Réseau hydrographique du bassin versant du Grésillou |
| ● eaux surface | Site d'étude - Installations |
| Hydrogéologie | ▬ Galeries souterraines |
| ▬ Zone d'infiltration des eaux de surface | ● Ouvrage débouchant au jour (ODJ) |
| Écoulement souterrain supposé | Structures géologiques (Carte géologique Carcassonne 1:50 000 ème) |
| ▬ Écoulement de sub-surface | ▬ Faille observée |
| ▬ Écoulements souterrains profonds | ▲ Chevauchement varisque de la Montagne noire et du Minervois, observé |



Dernière modification : 05/01/22

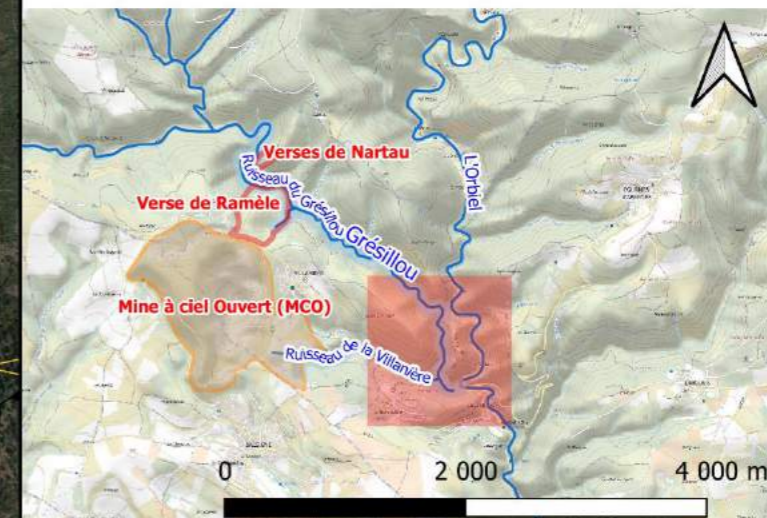
Version : b

Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Cartographie hydrogéologique



Légende :

- Zone étude Grésillou
- Station de suivi des eaux superficielles (ENVISOL, 2020)
 - eaux surfaces et sédiments (MES)
 - eaux surface
- Hydrogéologie
 - Ecoulement souterrain supposé
 - Ecoulements souterrains profonds
- Observations hydrogéologiques
 - Perte hydraulique totale
 - Résurgence
- Réseau hydrographique du bassin versant du Grésillou
- L'Orbiel
- Site d'étude - Installations
 - Galeries souterraines
 - Ouvrage débouchant au jour (ODJ)
- Structures géologiques (Carte géologique Carcassonne 1:50 000 ème)
 - Faille observée
 - ▲ Chevauchement varisque de la Montagne noire et du Minervois, observé



Dernière modification : 05/01/22

Version : b

Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Cartographie hydrogéologique

Figure 13. Cartographie hydrogéologique



3.3 Hydrologie

3.3.1 Description physique du Grésillou

Le Grésillou parcourt environ 900 m linéaires avant de longer, en rive gauche, la verse de Nartau, puis de Ramèle, en rive droite.

Pour rappel, le bassin versant hydrographique du Grésillou d'une surface de 12 km² est présenté sur la Figure 2. Les emprises des trois principaux secteurs d'études représentent 2,9% de cette surface et sont répartis ainsi :

- 0,041 km² pour Nartau,
- 0,039 km² pour la plateforme Marty,
- 0,2718 km² pour la verse Ramèle.

La réponse du Grésillou est rapide aux événements pluvieux et il a connu des crues importantes comme celles d'octobre 2018 ou de mai 2020. En périodes estivales ou de faibles pluies il s'assèche rapidement du fait de l'absence de nappe d'accompagnement et des pertes (voir chapitre 3.2.2.1).

A partir des années 80, afin d'éviter des venues d'eau du Grésillou trop importante vers les galeries de la mine pendant l'exploitation, le lit du Grésillou a été bétonné et busé sur une longueur de 380 m à l'aval immédiat de la plateforme Marty jusqu'à l'aval immédiat de la verse de Ramèle. D'après la télé-inspection réalisée en 2019, le busage présente des fissures longitudinales, de la corrosion et un certain nombre de racines. Ainsi il est possible que des pertes se produisent à nouveau vers la mine malgré la section busée.

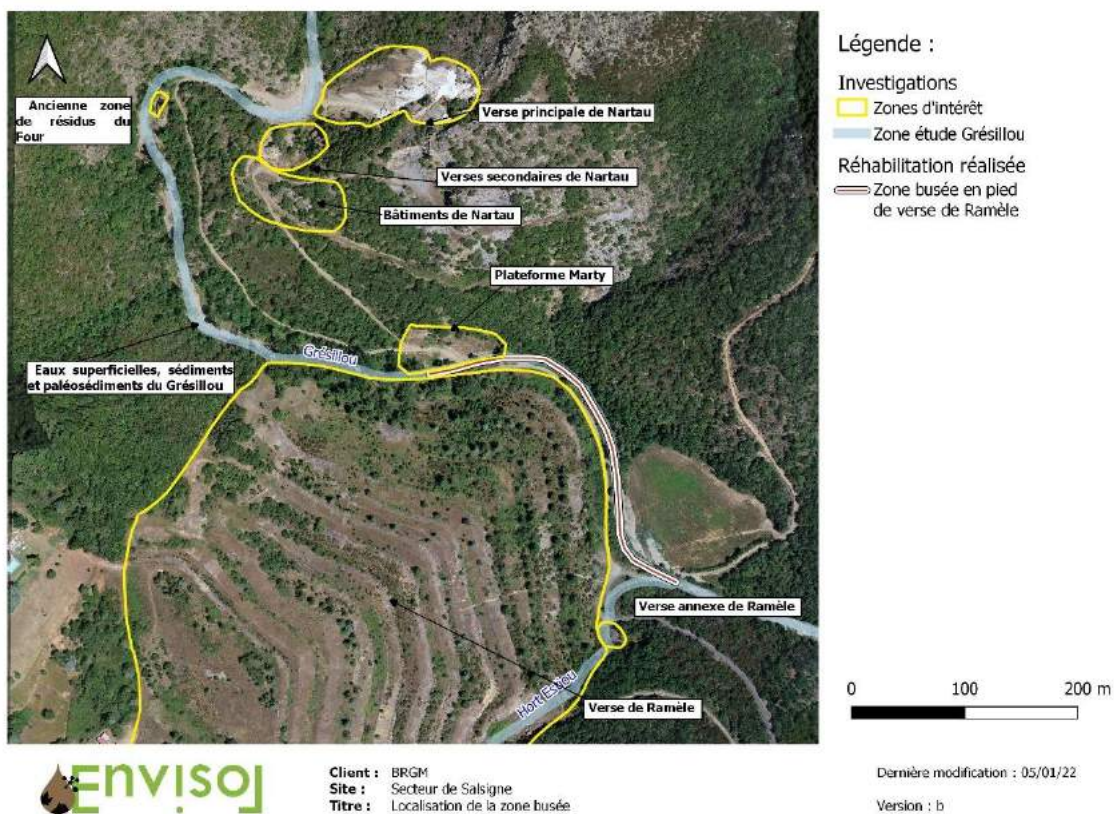


Figure 14. Localisation de la zone busée au sein du Grésillou



Lors des épisodes de fortes pluies, le Grésillou s'écoule à la fois en surface sur la partie bétonnée ainsi que dans la buse qui chemine sous la surface bétonnée (figure 15).



Figure 15. Photographie de la zone busée : entrée et sortie (de gauche à droite)

En aval immédiat de la partie bétonnée, le Grésillou est alimenté par des écoulements temporaires de l'Hort Estiou en rive droite. Le ruisseau de l'Hort Estiou circulait, avant la mise en place de la verse, au sein d'un talweg situé sous la topographie actuelle de la verse de Ramèle, en passant par la plateforme de Ramèle pour ensuite rejoindre le Grésillou. Depuis l'édification de la verse de Ramèle (années 1986-1989), cette zone d'écoulement préférentielle des eaux a pour bassin versant principal le flanc sud-est de la verse de Ramèle. Sur sa rive droite se situe la verse annexe de Ramèle. Cette zone d'écoulement non pérenne est finalement artificiellement chenalisée en contre bas de la route avant de rejoindre le Grésillou. Cet ancien ruisseau présente un écoulement temporaire et est, la majorité du temps, asséché en contrebas de la route au niveau de la zone canalisée. Même si les écoulements ne sont pas observés en surface, l'Hort Estiou peut être le siège de circulations de surface et subsurface dans les couches supérieures de la verse de Ramèle et notamment au niveau de la plateforme Ramèle.

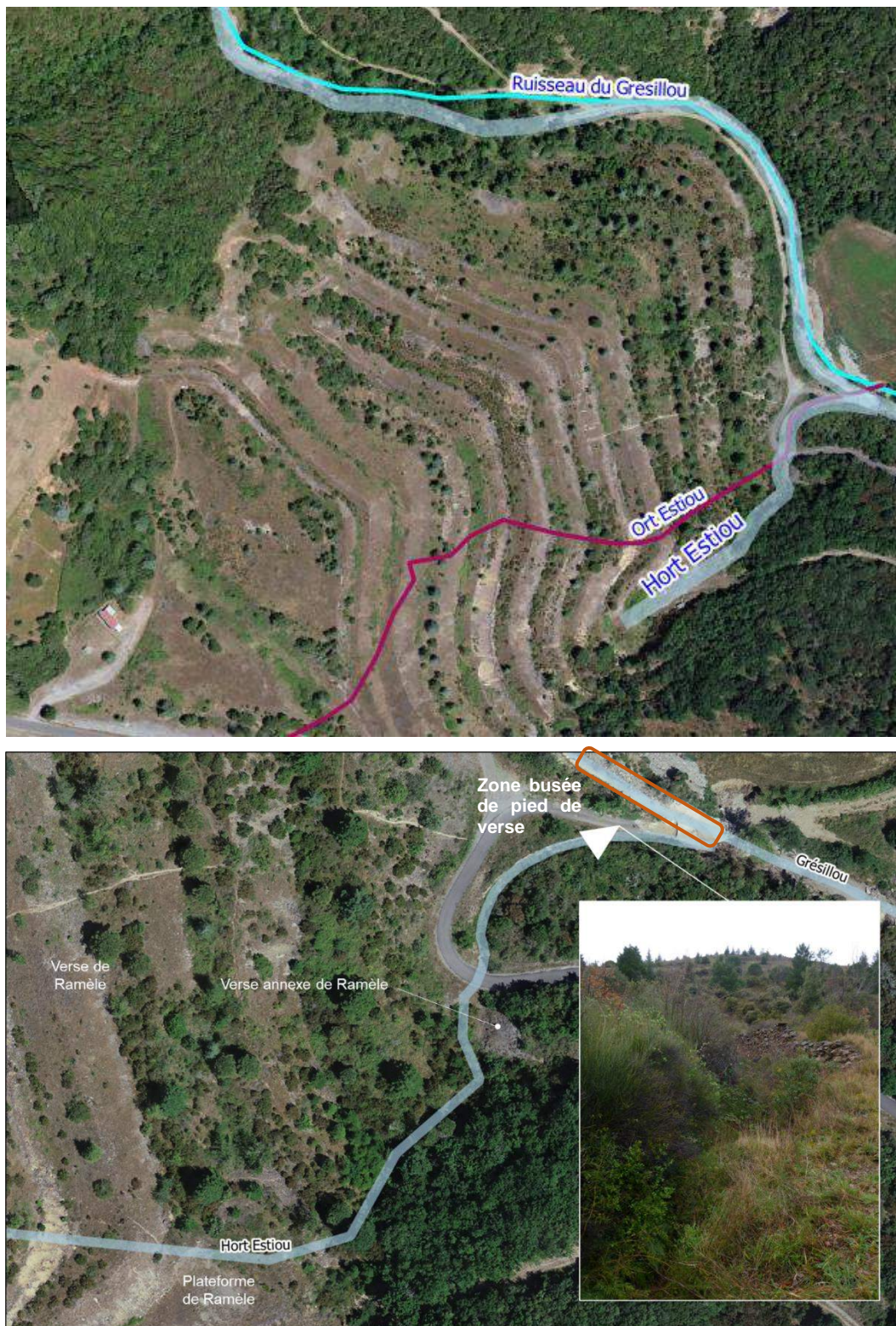


Figure 16. Localisation de l'Hort Estiou avant la mise en place de la verse (Haut, trait rose) et après (Bas, trait bleu) avec photographie depuis la route (vue vers l'amont)

Plus en aval, le Grésillou est alimenté par deux ruisseaux mineurs (absence d'appellation) en rive gauche, puis le ruisseau de la Villanière en rive droite juste avant sa confluence avec l'Orbiel environ 3 km après la verse de Ramèle.



Le ruisseau de Villanière (hors champ de la présente étude) prend ses sources en contrebas du village de Villanière notamment à proximité du puits Castan (puits d'exploitation de la mine à ciel ouvert de Salsigne). De là, il parcourt environ 1,5 km avant de se jeter dans le Grésillou qui lui-même se jette 200 m plus loin dans l'Orbiel.

Pendant l'année 2020, le ruisseau de Villanière a toujours été asséché.

3.3.2 Débits du Grésillou

Les débits du Grésillou sont mesurés mensuellement depuis janvier 2013 par la société Minélics en 2 stations de surveillance mine 1 et mine 2, situées en amont de Nartau et en aval de Ramèle, respectivement. Le suivi des débits moyens avec les maximums et minimums est présenté ci-dessous.

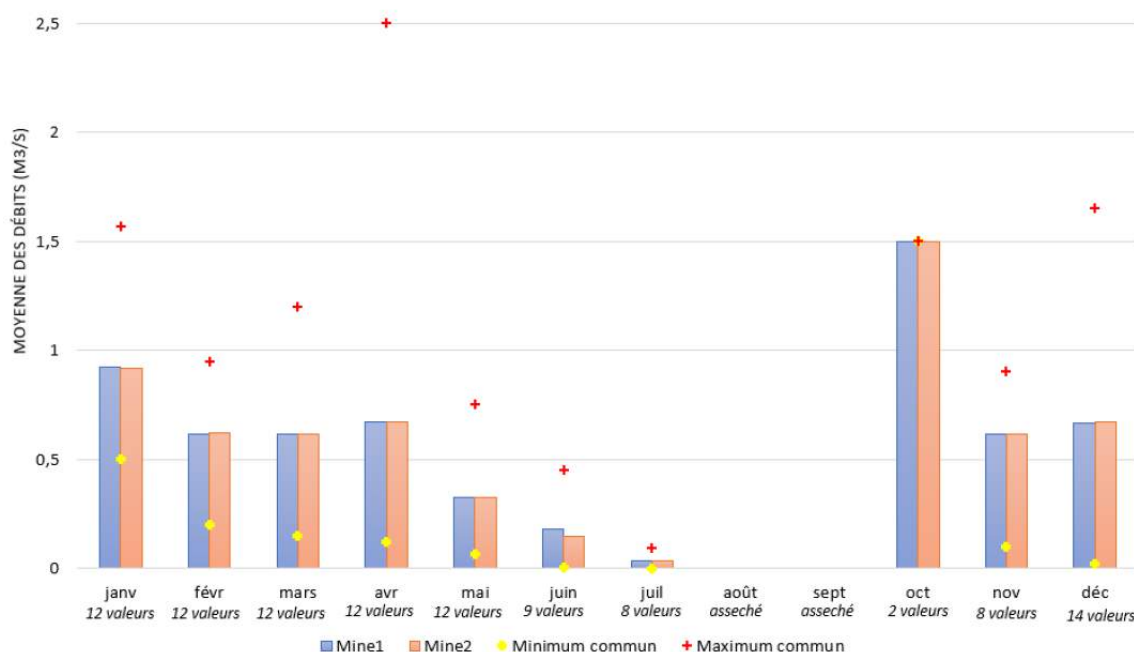


Figure 17. Débit moyen du Grésillou en Mine 1 et 2 mesuré par Minélics de janvier 2013 à 2020.

Ces données montrent que :

- le cours d'eau est asséché en Mine 1 et 2 (aval de Ramèle) de façon permanente en août et septembre et fréquemment en juin, juillet et octobre ;
- il existe une forte augmentation soudaine des débits pendant les mois pluvieux (octobre à avril) confirmant le caractère très réactif à la pluviométrie du Grésillou.

ENVISOL a complété ces données par la réalisation de campagnes de jaugeages mensuelles sur l'année 2020 le long de toute la section du Grésillou au droit de 14 points de mesures (figure 18).



Légende :

- Emprise des investigations
- Station de mesure des débits
- Réseau hydrographique



Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Localisation des stations de suivi (sédiments, jaugeages et qualité des eaux)

Dernière modification : 10/02/21

Version : a

Figure 18. Stations de suivi des débits du Grésillou



Les résultats de mesure de débit sont présentés ci-dessous :

Tableau 4. Débits estimés en m³/s à la suite des campagnes de jaugeages mensuelles le long du Grésillou en 2020 (Logiciel de calcul DEPJAU).

Station de mesure / Date de suivi	28/01/2020	27/02/2020	01/03/2020	14/04/2020	03/05/2020	10/06/2020	08/07/2020	11/08/2020	28/09/2020	28/10/2020	23/11/2020	28/12/2020
Mine 1	0,2	0,04	Crise sanitaire Covid-19	0,08	0,64	0,3	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	0,39
Grésillou A	0,31	Station retirée du suivi		Station retirée du suivi								
Grésillou B	0,47	0,06		0,17	0,15	0,1	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	0,41
Mine 1.5	0,3	0,06		0,05	0,09	0,06	Pas assez d'eau	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Pas assez d'eau
Grésillou C - surface	0,47	0,08		0,01	0,09	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Pas assez d'eau
Grésillou C - buse	0,26	0,07		0,07	0,22	0,04	Trop dangereux	Asséché	Asséché	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Trop d'obstacle
Mine 2 - surface	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau		Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Pas assez d'eau
Mine 2	0,23	0,08		0,04	0,14	0,07	Pas assez d'eau	Asséché	Pas assez d'eau	Pas assez d'eau	Asséché	0,29
Grésillou D	Non pertinent	Non pertinent		Non pertinent	Non pertinent	Non pertinent	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	Asséché	0,47
Grésillou E	Non pertinent	Station retirée du suivi		Station retirée du suivi								
Grésillou F	Non pertinent	Asséché		Asséché								
Grésillou G	Non pertinent	Pas assez d'eau		Pas assez d'eau								
Orbiel amont	Trop dangereux			Trop dangereux							0,5	Trop dangereux
Orbiel aval	Trop dangereux			Trop dangereux							1,02	Trop dangereux

La mention « non pertinent » signifie que la prise de mesure ne peut se faire que dans des bassins consécutifs avec un débit perçu très faible.

Ces données, partielles en raison d'une année 2020 particulièrement sèche, montrent toutefois une diminution quasi systématiquement mesurable du débit entre mine 2 et Grésillou D en raison d'une perte significative (voir chapitre 3.2.2.1).

En complément de ces campagnes mensuelles, deux campagnes spéciales (préleveurs automatiques) ont été réalisées par ENVISOL lors d'événements pluvieux particulièrement intenses : les 14 mai 2020, 14-16 décembre 2020 et 30-02 février 2021.



Tableau 5. Débits calculés à la suite des campagnes de jaugeages réalisées lors des événements pluvieux significatifs

Date de l'évènement pluvieux	Les 11/05/2020 et 12/05/2020	Du 14/12/2020 au 16/12/2020		Du 30/01/2021 au 02/02/2021	
Date de jaugeage	14/05/2020	14/12/2020	16/12/2020	30/01/2021	02/02/2021
Mine 1	1,15 m ³ /s	0,17 m ³ /s	0,06 m ³ /s	0,64 m ³ /s	2,59 m ³ /s
Grésillou A	Retiré du suivi				
Grésillou B	1,10 m ³ /s	-	-	-	-
Mine 1,5	Non mesuré (dangereux)	0,13 m ³ /s	0,05 m ³ /s	0,63 m ³ /s	2,63 m ³ /s
Grésillou C Buse	Non mesuré (dangereux)	-	-	-	-
Grésillou C Surface	Non mesuré (dangereux)	-	-	-	-
Mine 2	Non mesuré (dangereux)	0,18 m ³ /s	0,14 m ³ /s	0,64 m ³ /s	3,18 m ³ /s
Mine 2 Surface	1,06 m ³ /s	-	-	-	-
Grésillou D	Non mesuré (dangereux)	-	-	-	-
Grésillou E	Retiré du suivi	-	-	-	-
Grésillou F	0,86 m ³ /s	-	-	-	-
Grésillou G	0,97 m ³ /s	-	-	-	-
Orbiel Amont	Non mesuré (dangereux)	-	-	-	-
Orbiel Aval	Non mesuré (dangereux)	-	-	-	-

Ces données ont montré :

- que des débits exceptionnels (supérieurs aux débits des campagnes mensuelles de routine) ont bien été mesurés lors des événements pluvieux de mai 2020 et janvier/février 2021 mais pas pendant celui de décembre 2020 ;
- à la fin des campagnes de prélèvement (et des événements pluvieux les 16/12/2020 et 02/02/2021) une augmentation non négligeable de débit entre Mine 1 et Mine 2;
- qu'un écoulement a été constaté en aval du Grésillou (Grésillou F avant la confluence avec le ruisseau de la Villanière) **soit pour un débit mesuré en mine 1 \geq à 1,15 m³/s.**



3.3.3 Qualité des eaux du Grésillou

3.3.3.1 Campagnes de suivi en routine

La société Minélias réalise un suivi mensuel des eaux superficielles depuis 2010 sur 3 points situés le long du Grésillou. Il s'agit des stations Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2, respectivement localisées en amont hydraulique de la verse de Nartau, en aval de Nartau/amont de Ramèle, puis en aval de Ramèle. Les stations sont localisées sur la figure 18 du chapitre 3.3.2.

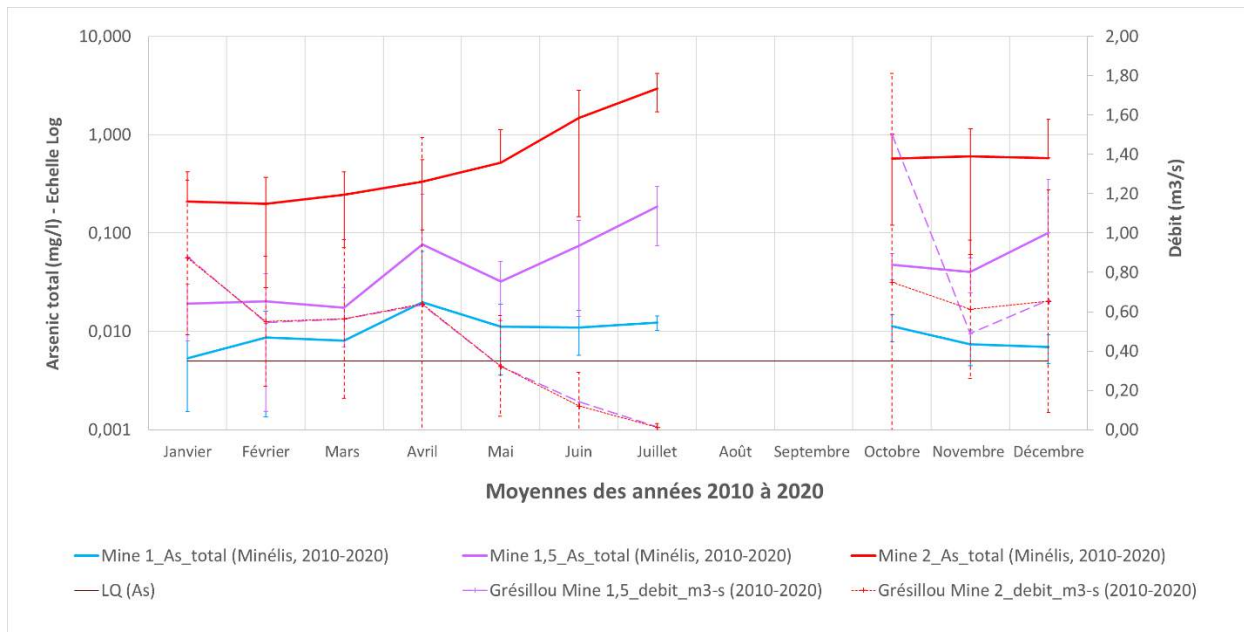


Figure 19. Moyennes mensuelles des débits et concentrations en arsenic total au droit des stations Mine 1, Mine 1,5, Mine 2 sur la période 2010-2020 (données Minélias). Les écarts-types sont également précisés. On rappelle que pour le suivi Minélias le débit en mine 1 est égal à mine 1,5 et pris en un point unique.

Les résultats révèlent des concentrations en arsenic total, en aval des verses, tributaires des saisons, avec les concentrations les plus importantes observées lorsque les débits sont les plus faibles, d'avril à juillet (phase d'assèchement du Grésillou). Les concentrations observées en amont du secteur de Nartau (mine 1) semblent relativement homogènes (de 0,0025 à 0,155 mg/l), liées au bruit de fond au sein des eaux superficielles en amont du secteur d'étude.

Globalement, les concentrations mesurées dans le temps révèlent qu'elles sont 2 fois plus élevées en Mine 1.5 qu'en Mine 1, et 10 fois plus élevées en Mine 2 qu'en Mine 1.5.

Lors du suivi, l'arsenic observé est majoritairement représenté par de l'arsenic sous forme dissoute (entre 80 à 90 %), hors événements pluvieux significatif comme les crues.

La société ENVISOL a complété ces résultats avec la réalisation, sur l'année 2020, de prélèvements mensuels sur toute la longueur du Grésillou jusqu'à sa confluence avec l'Orbiel quand cela était possible. Les figures ci-dessous présentent l'évolution des concentrations en arsenic dissous et total au niveau des stations d'analyses des eaux superficielles du Grésillou.

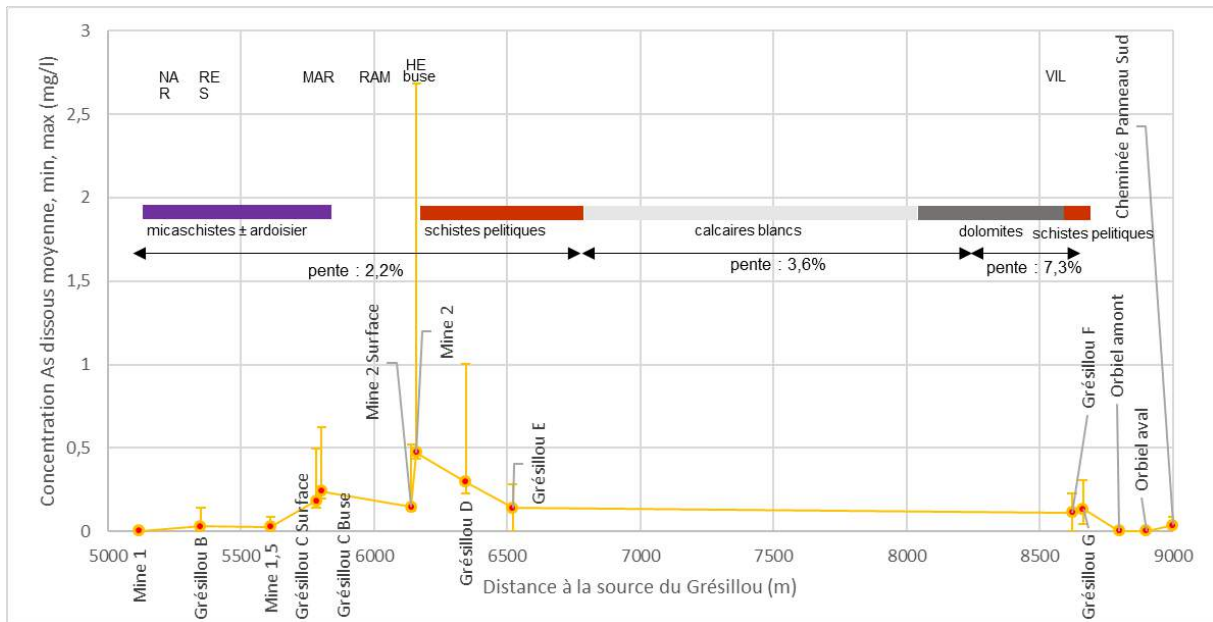


Figure 20. Concentrations moyennes en arsenic dissous dans les eaux superficielles du Grésillou

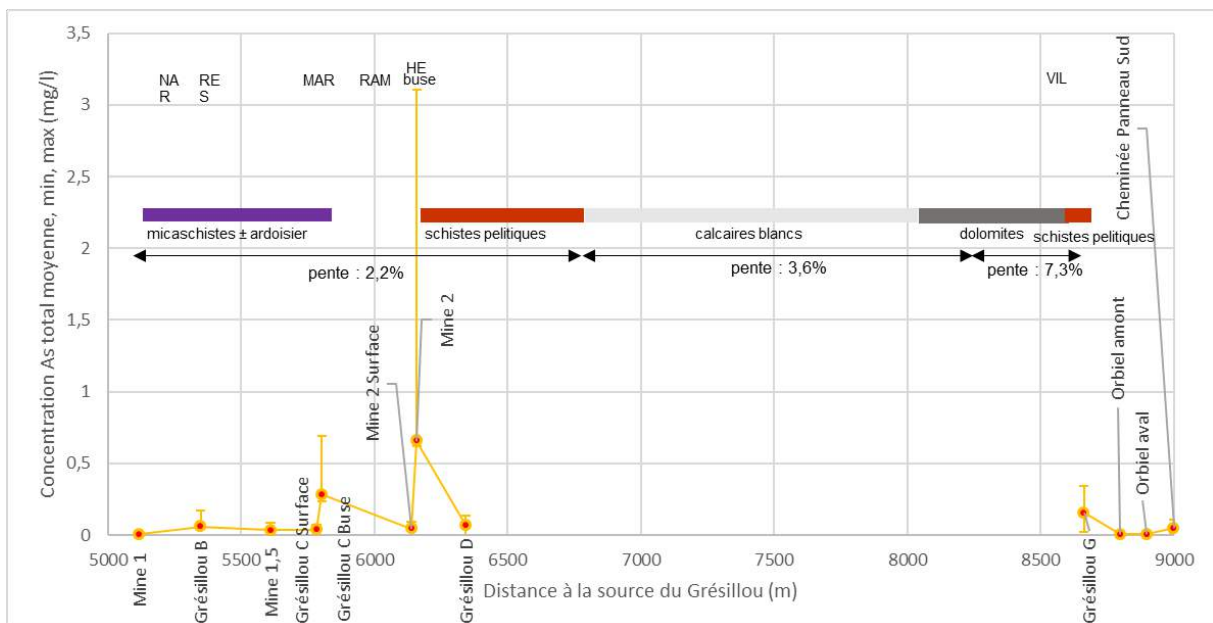


Figure 21. Concentrations moyennes en arsenic total dans les eaux superficielles du Grésillou

On observe, comme pour les données Minélias, une augmentation des concentrations en arsenic dissous entre Mine 1 et Mine 2 ; la concentration moyenne entre les stations Mine 1 (0,004 mg/l) et Mine 1,5 (0,030 mg/l) étant multipliée par 7 et par 16 entre les stations Mine 1,5 et Mine 2 (0,473 mg/l) (en sortie de buse dans le lit du Grésillou).

Les renseignements complémentaires apportés par les campagnes ENVISOL sont les suivants :

- on constate une augmentation significative des concentrations en As entre Mine 1,5 et Grésillou C, ce qui représente le début de l'apport de la verse de Ramèle. En toute logique, les concentrations sur Grésillou C buse (à l'entrée de la buse) et Grésillou C surface (en débordement sur le lit bétonné du Grésillou) sont homogènes (il s'agit du même cours d'eau dont le débit se répartit entre la buse et la surface) ;



- ensuite l'on constate une stabilité voire une petite baisse des concentrations en As dissous en fin de parcours sur le lit bétonné (Mine 2 surface) possiblement liée à une dilution sur le parcours par des apports latéraux de ruissellements superficiels ou de subsurface peu impactés ;
- dans le même temps les concentrations en As en fin de parcours dans la buse (Mine 2 buse) semblent augmenter nettement indiquant des apports au niveau de la buse, probablement via les fissures inventoriées lors de l'inspection caméra réalisé en 2019 dans le but de vérifier l'état de la buse. Ainsi des apports de subsurface en provenance de la verse de Ramèle et/ou de la plateforme Marty alimenteraient le Grésillou au travers de la buse fuyarde ;
- une baisse des concentrations moyennes en As dissous sur Grésillou D est observée. Ceci pourrait être soit dû à la perte localisée en aval Grésillou D soit dû à l'Hort Estiou en aval qui jouerait plutôt un rôle de dilution ;
- enfin, en Grésillou F, les concentrations sont similaires à celle de Grésillou E indiquant l'absence de phénomène de précipitation/dilution majeurs. A noter en Grésillou G une très faible augmentation de concentrations en As dissous possiblement liée à un apport d'une résurgence de la mine ou du ruisseau de la Villanière. Cette hypothèse est confirmée par les mesures également réalisées pour les sulfates et la conductivité et discutées ci-après. La minéralisation en sulfates est en effet bien plus prononcée en Grésillou G, à l'instar de la conductivité, pouvant traduire une origine des eaux en provenance de la mine compte tenu de la similarité des concentrations avec celle du point de surveillance de la nappe « panneau sud ». On peut émettre l'hypothèse que la résurgence observée en Grésillou G (au-dessus de la côte NGF du niveau de la mine) provient de la zone ennoyée de la mine en souterrain via le ruisseau de la Villanière.

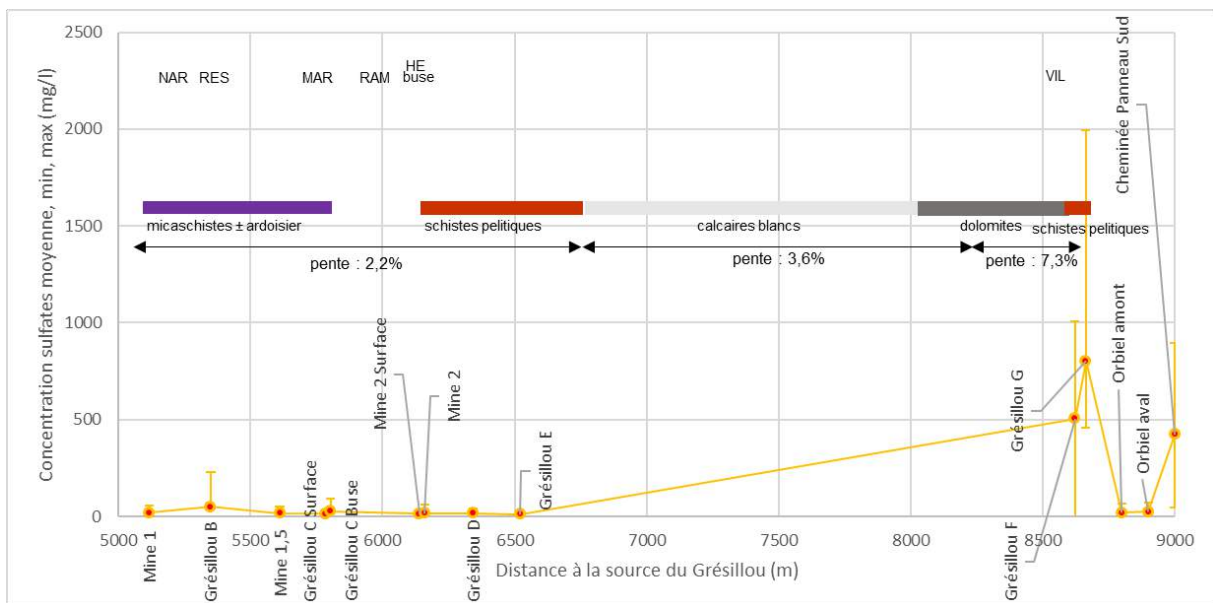


Figure 22. Concentrations en sulfates dans les eaux superficielles du Grésillou, de l'Orbiel et au niveau de la Cheminée Panneau Sud.

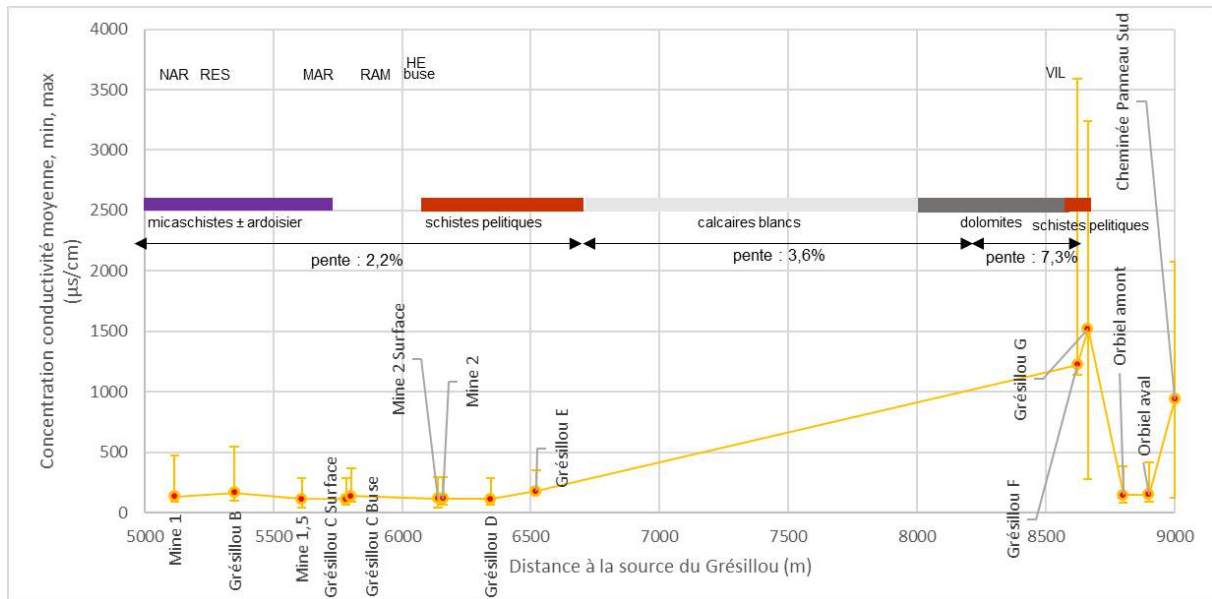


Figure 23. Evolution de la conductivité des stations investiguées en 2020 et début 2021 (campagnes mensuelles et de prélèvement automatique)

La proportion d'arsenic dissous est majoritaire dans les eaux superficielles. L'arsenic particulaire représente chroniquement de 0% à 25% de l'arsenic total sur les différentes stations, hors événements exceptionnels comme les crues. Une proportion d'arsenic particulaire relativement plus importante est observée au niveau des stations Mine 1, Grésillou B et Grésillou C surface en comparaison avec les autres stations d'analyses. Ce résultat est à relativiser du fait de l'incertitude analytique du laboratoire qui peut atteindre jusqu'à 50% de la valeur de concentration en arsenic indiquée.

3.3.3.2 Suivi de qualité lors d'évènements pluvieux de forte intensité

ENVISOL a suivi plusieurs évènements pluvieux de forte intensité afin de déterminer si les concentrations en arsenic pouvaient évoluer de manière significative pendant ces évènements pluvieux et si la proportion d'arsenic particulaire pouvait être modifiée.

Trois préleveurs automatiques ont ainsi été installés en trois points stratégiques identifiés par les données du suivi mensuel de routine afin d'évaluer les flux particulaire et dissous associés aux verses de Nartau et Ramèle au cours d'évènements pluvieux significatifs (>30 mm en une journée) (Figure 24) :

- au droit de Mine 1, en amont des verses de Nartau et Ramèle,
- au droit de Mine 1,5, en aval de la verse Nartau et en amont de la verse Ramèle,
- au droit de Mine 2, en aval des verses de Nartau et Ramèle.



Figure 24. Plan de localisation des 3 préleveurs automatiques au droit de Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2.



Deux campagnes de prélèvement ont pu être suivies :

- **la première campagne a été menée entre le 14 et le 16 décembre 2020**, avec une pluie cumulée de 57,4 mm. En raison des prévisions météorologiques, les préleveurs automatiques ont été déclenchés en fin de l'évènement pluvieux (Figure 25). En cohérence, les mesures de débit réalisées diminuent progressivement entre le 14 et 16 décembre (Tableau 7, chapitre 3.3.2). On observe une augmentation des débits entre Mine 1 et Mine 2.

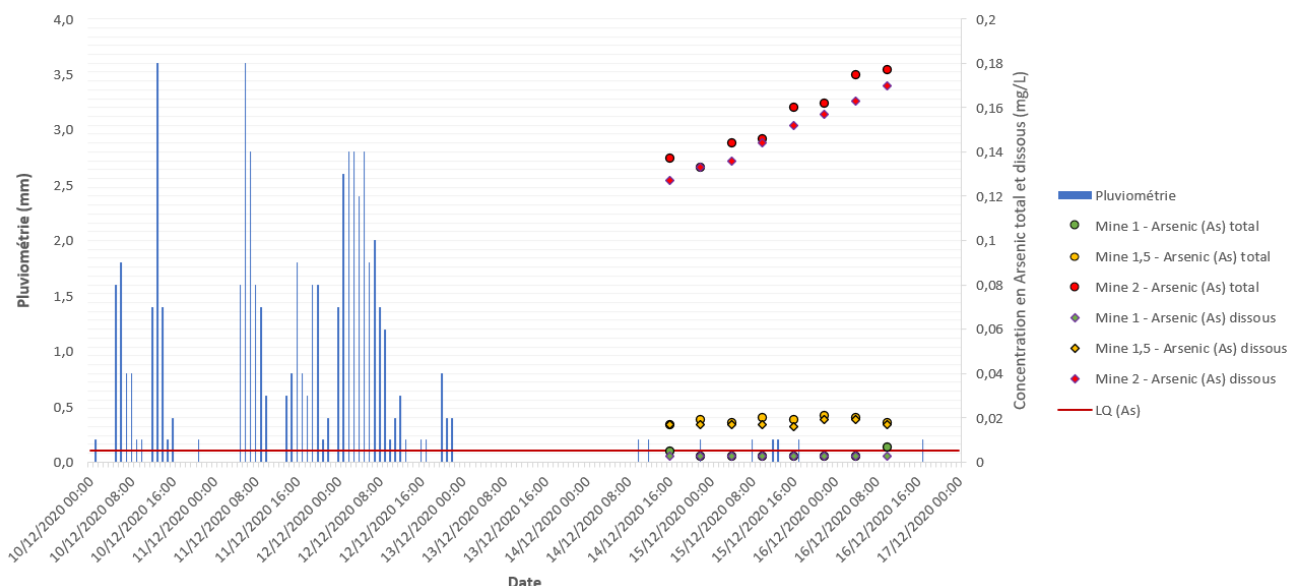


Figure 25. Evolution des concentrations en arsenic total et dissous lors de la première campagne de préleveurs automatiques du 14 et 16 décembre 2020 (stations Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2)

Les concentrations en As augmentent entre Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2 conformément à la démonstration faite par le suivi de routine (ici les concentrations en Mine 2 sont globalement 10 fois supérieures à Mine 1,5).

L'information nouvelle apportée par cette campagne est qu'après l'évènement pluvieux, les concentrations en As dissous et total sont constantes sur Mine 1 et 1,5 avec en moyenne 0,005 mg/l et 0,019 mg/l en arsenic total, respectivement. Alors que sur la station Mine 2, les concentrations en arsenic total augmentent progressivement en fin d'évènement de 0,137 mg/l à 0,177 mg/l. Cette augmentation des concentrations peut être corrélée à une diminution progressive du débit et donc à une diminution de l'effet de dilution en fin d'évènements pluvieux ou à un retard lié à un effet tampon de la verse de Ramèle (temps d'arrivée des eaux d'infiltration dans la verse vers le Grésillou). D'après les débits relevés lors de l'épisode (tableau 5), les débits en mine 2 évoluent faiblement entre le début et la fin de campagne (0,18 m³/s à 0,14 m³/s) ce qui irait dans le sens d'un effet tampon de la verse de Ramèle c'est-à-dire une diminution immédiate des écoulements de sub-surface.

La proportion d'arsenic dissous est en moyenne de 96% de l'As total en cohérence avec les proportions d'arsenic dissous retrouvées dans les eaux superficielles au cours des différentes campagnes de terrain réalisées. Cet évènement pluvieux n'a donc pas eu d'incidence sur le flux particulaire.

- **la deuxième campagne a été menée entre le 30 janvier et le 2 février 2021** avec une pluie cumulée de 97 mm en 4 jours. Des prélèvements ont été réalisés en début, au milieu puis proches de la fin de l'évènement pluvieux (Figure 26). Une forte



augmentation des débits a été observée entre le début et la fin du prélèvement (Tableau 7, chapitre 3.3.2). Par ailleurs, à la fin de l'évènement on note une augmentation de débit entre Mine 1.5 et Mine 2 (0,55 m³/s). Cette augmentation de débit suppose un apport d'eau entre Mine 1,5 et Mine 2 lors de forts évènements pluvieux.

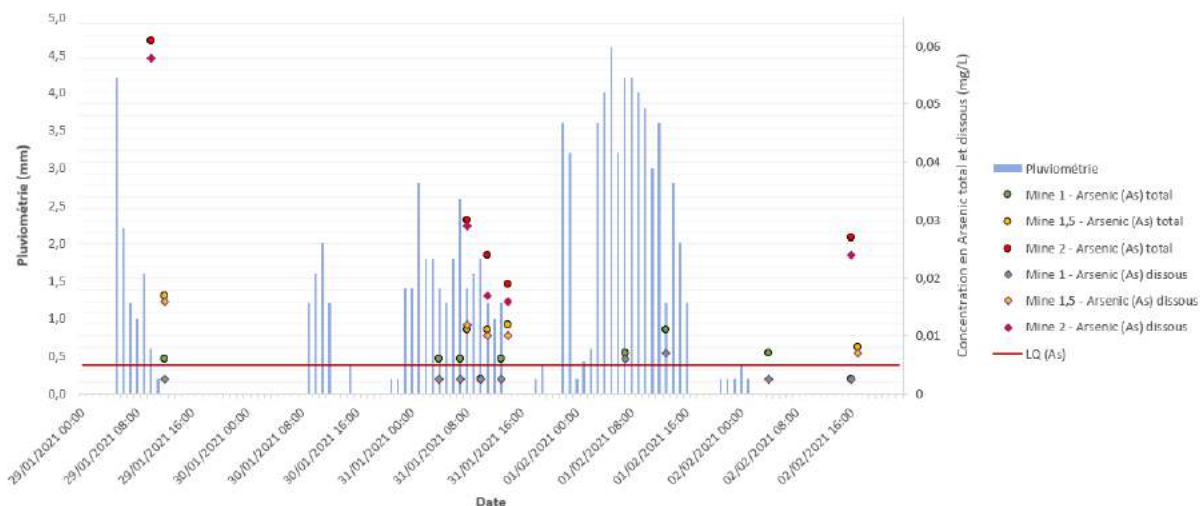


Figure 26. Evolution des concentrations en arsenic total et dissous lors de la deuxième campagne de prélèvements automatiques du 29 janvier et 02 février 2021 (stations Mine 1, Mine 1,5 et Mine 2)

De façon identique à la campagne précédente, les concentrations en As augmentent de manière croissante entre Mine1, Mine 1,5 et Mine 2 conformément à la démonstration faite par le suivi de routine (ici les concentrations en Mine 2 sont globalement 2 à 4 fois supérieures à Mine 1,5).

Globalement, après l'évènement pluvieux, les concentrations en As dissous et total sont constantes sur Mine 1 avec en moyenne 0,011 mg/l en arsenic total. Sur la station Mine 1,5, les concentrations en As tendent à diminuer avec la plus forte concentration observée en début d'évènement (0,017 mg/l en As total). Sur la station Mine 2, la plus forte concentration est également observée en début d'évènement pluvieux (0,067 mg/l). Cette concentration en arsenic semble diminuer durant l'évènement pluvieux pour réaugmenter progressivement à la fin de l'évènement. L'impact des verses semble donc se diluer au cours de l'évènement pluvieux pour réaugmenter progressivement en fin d'évènement sur Mine 2 uniquement en lien avec une diminution progressive du débit (dilution plus faible) et un potentiel effet tampon de Ramèle bien observé lors de la campagne de décembre.

La proportion d'arsenic particulaire varie entre 3% et 36% au cours de l'évènement pluvieux d'après les mesures réalisées. La plus grande proportion d'arsenic particulaire est observée pour Mine 2. Pour Mine 1,5, la proportion d'arsenic particulaire reste faible. Cet évènement d'intensité supérieure a eu un effet d'augmentation du flux particulaire qui semble plus importante après les **secteurs plateforme Marty et verse Ramèle**. L'eau de ruissellement peut en effet développer un caractère érosif plus important pour des intensités pluviométriques plus élevées.

3.3.4 Qualité des sédiments et paléo-sédiments

3.3.4.1 Les sédiments

En 2006, ICF a réalisé des mesures de la qualité des sédiments le long du Grésillou. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure suivante. Ils indiquent que les sédiments les plus riches en arsenic se situaient en aval de Nartau et des verses de Ramèle. Les concentrations tendaient à diminuer en partie aval du cours d'eau mais restaient relativement élevées (supérieures à 250 mg/kg). Il est à noter que ces concentrations ne peuvent pas être rigoureusement comparées aux campagnes postérieures en raison des protocoles de mesures et de correction de données effectués.

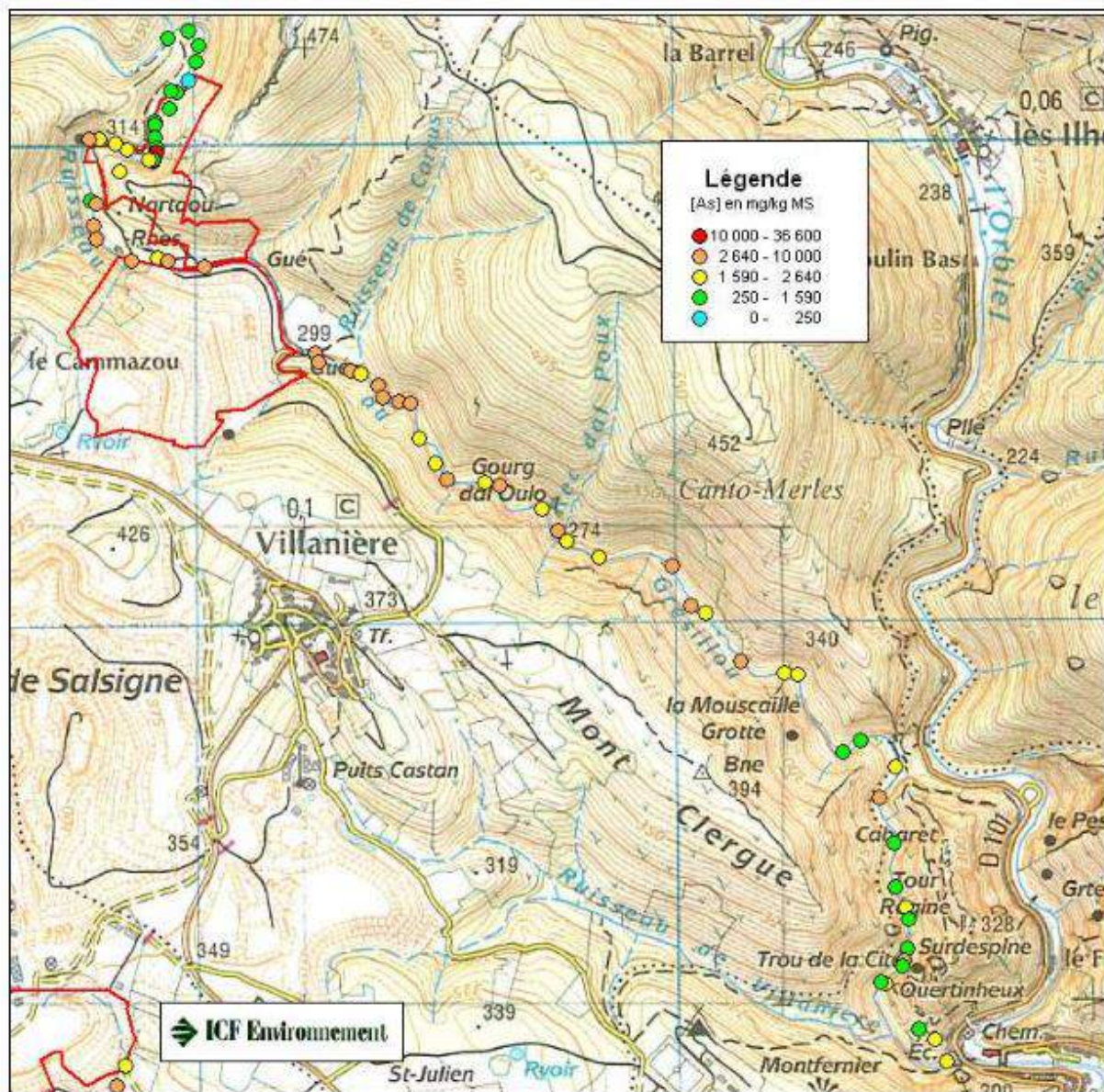


Figure 27. Cartographie des concentrations en As sur les sédiments du Grésillou (ICF, 2007)

En 2020, ENVISOL a effectué une nouvelle campagne d'analyse des sédiments le long du Grésillou consistant en la réalisation de mesures sur site pXRF (109) calibrées et complétées par des mesures laboratoires ICP (28) puis de mesures spécifiques par DRX et extraction séquentielles (7) pour appréhender les transferts possibles.

Cette campagne a montré que selon les observations macroscopiques, la nature des sédiments le long du Grésillou ne change que très peu. On y retrouve des micaschistes, des schistes gréseux, des schistes ardoisiers, des matériaux ferrugineux et des fragments de veines de quartz ou de calcite. Les variations observées concernent les blocs de grandes tailles (quelques centimètres à plusieurs décimètres) et sont fonction du substratum sur lequel le Grésillou s'écoule.

Des blocs de scories sont présents dès l'entrée de la zone (GRE1) et jusqu'à la confluence entre l'Orbiel et le Grésillou. Des blocs de minerais à sulfures et scorodite sont également observés le long du Grésillou.

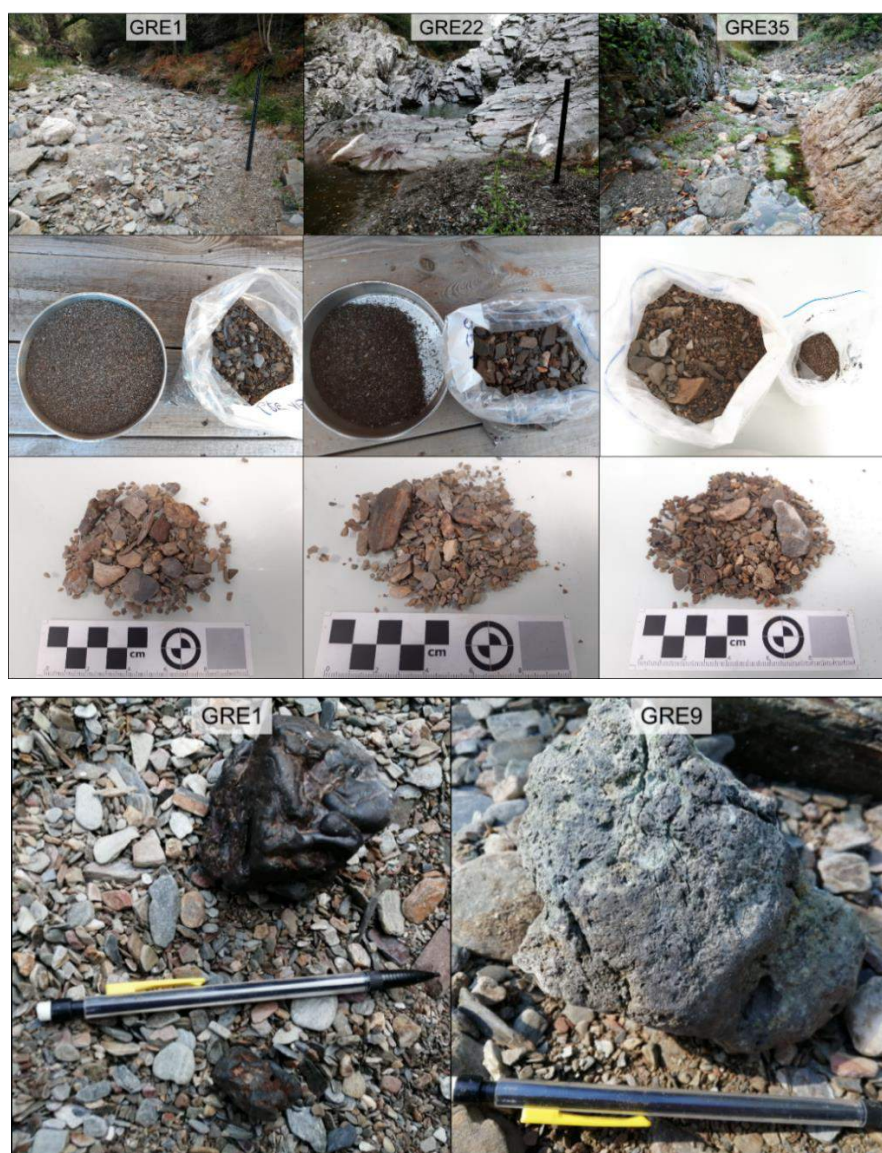


Figure 28. Photographies d'échantillons de sédiments du Grésillou : à gauche GRE1, au centre GRE22 et à droite GRE35, situés respectivement en amont de Nartau, en aval des zones sources et avant la confluence avec l'Orbiel. Photographies de blocs de scories et de minerais retrouvés dans le Grésillou en GRE1 et GRE9.



Les analyses chimiques ont montré que les sédiments du Grésillou ont une concentration anormalement haute en As comparée aux points amont. La cartographie des concentrations en arsenic dans les sédiments le long du Grésillou est présentée ci-dessous (Figure 29).

Au niveau de la zone d'étude, une augmentation des concentrations en arsenic a été observée en aval proche de la verse de Ramèle et de la plateforme de Marty. Plus en aval, une augmentation des teneurs a été observée à partir de GRE25 jusqu'à l'Orbiel. Cette augmentation de la concentration en partie basse du ruisseau du Grésillou peut être en lien avec un déplacement des sédiments le long du cours d'eau lors de période de crue ou un apport du ruisseau de la Villanière lorsque celui-ci est en eau.

Les sédiments de l'Hort Estiou (38 306 mg/kg) ont des concentrations largement supérieures aux sédiments du Grésillou (en moyenne 2 007 mg/kg) et de la Villanière.

Les concentrations des sédiments de l'Orbiel sont comprises dans la gamme des valeurs des bruits de fond des deux ensembles géologiques considérés. L'arsenic est en moyenne 10 fois supérieur dans les sédiments du Grésillou que dans les sédiments de l'Orbiel.

Les analyses de lixivibilité ont montré que l'arsenic est fortement mobilisable dans les sédiments du Grésillou, de la Villanière et de l'Hort Estiou, en cohérence avec sa distribution dans les phases minérales. En effet, il est contenu pour les sédiments du Grésillou et Villanière dans des oxy/hydroxydes de fer (e.g. magnétite, hématite, goethite) et d'aluminium tandis que pour les sédiments de l'Hort Estiou, dans l'orpiment, et probablement dans des sulfures ou sulfates de fer et/ou des oxy/hydroxydes de fer et d'aluminium.

Enfin, il ressort de ces résultats d'analyses des sédiments du Grésillou une évolution spatio-temporelle des concentrations en arsenic entre les mesures réalisées par ICF en 2006 et celles réalisées en 2020 par ENVISOL. Les concentrations en As mesurées par ICF en 2006 dans les sédiments augmentent en aval des verses de Nartau et Ramèle pour diminuer en partie basse du Grésillou aux abords du ruisseau de la Villanière. Les données d'ENVISOL, postérieures à la crue de 2018, indiquent une augmentation de la concentration en As dans les sédiments sur cette même partie aval du cours d'eau (juste en aval de la confluence entre le Grésillou et la Villanière). Le gradient de concentrations en As dans les sédiments semble avoir évolué entre 2006 (résultats ICF) et 2020 (résultat ENVISOL), ce qui pourrait être dû à un transfert des sédiments impactés en As vers l'aval des zones d'intérêt notamment lors de la crue de 2018. Cette hypothèse est néanmoins à nuancer car les données ICF et ENVISOL ont été acquises et corrigées différemment ce qui ne permet pas une comparaison stricte des concentrations.

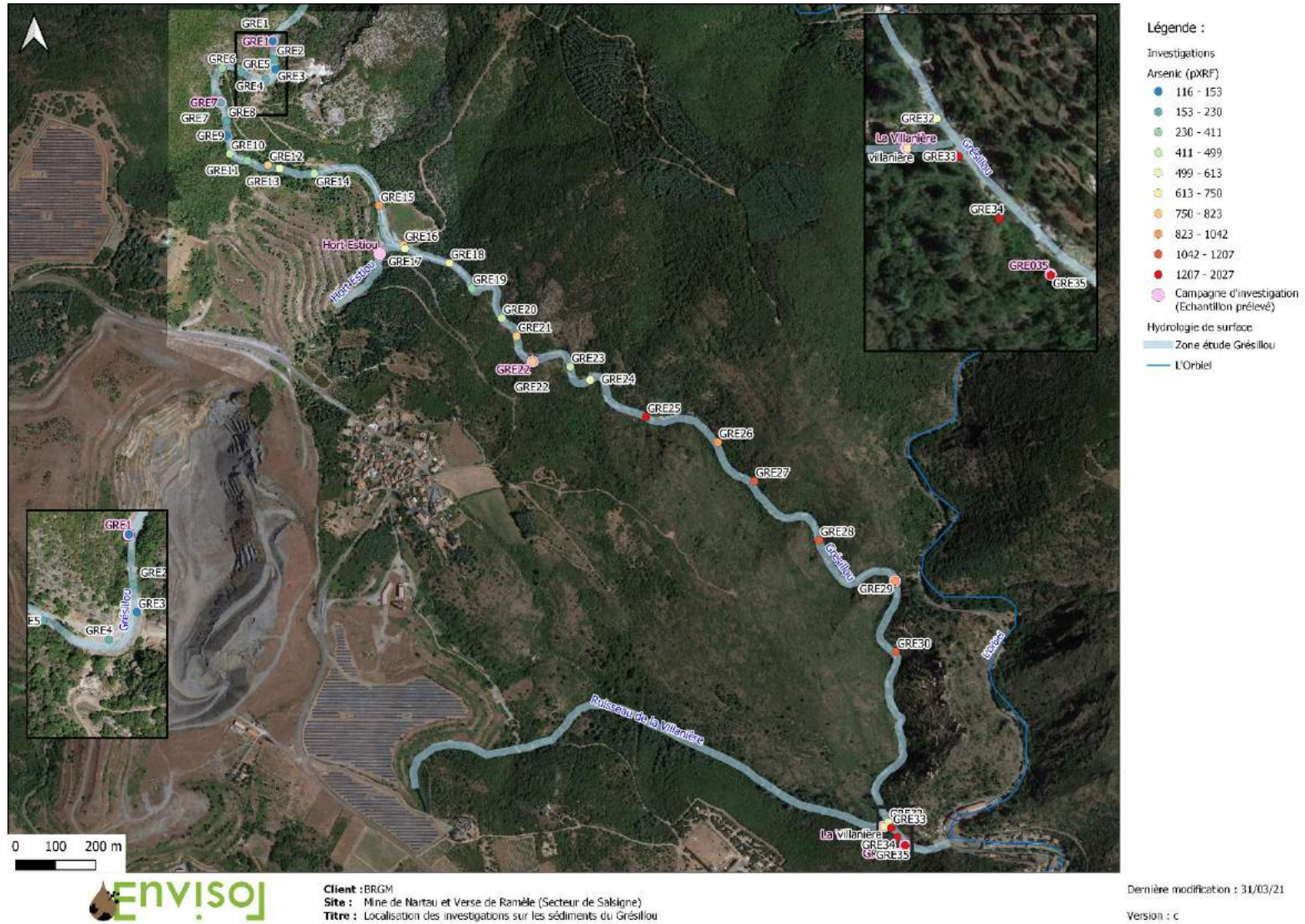


Figure 29. Cartographie des concentrations en arsenic dans les sédiments le long du Grésillou



En 2021, le BRGM a réalisé une campagne de prélèvements complémentaire et de mesures pXRF sur des sédiments < 2 mm (dans le cadre de l'élaboration d'un système d'Information sur les Sols (SIS) sur l'emprise de crue de l'Orbiel).

Les échantillons prélevés ont été constitués de matériaux composites sous-berge de part et d'autre du cours d'eau du Grésillou ou d'échantillons d'un matériel hybride sol/sédiments. Les résultats obtenus, présentés ci-dessous (figure 30), indiquent des gammes de teneurs en arsenic comprises :

- entre 130 et 400 mg/kg en amont de Nartau ;
- entre 200 et 1 000 mg/kg en aval de Nartau ;
- entre 1 000 et 9 500 mg/kg au niveau de la verse de Ramèle et jusqu'au point d'échantillonnage le plus en aval sur le Grésillou.

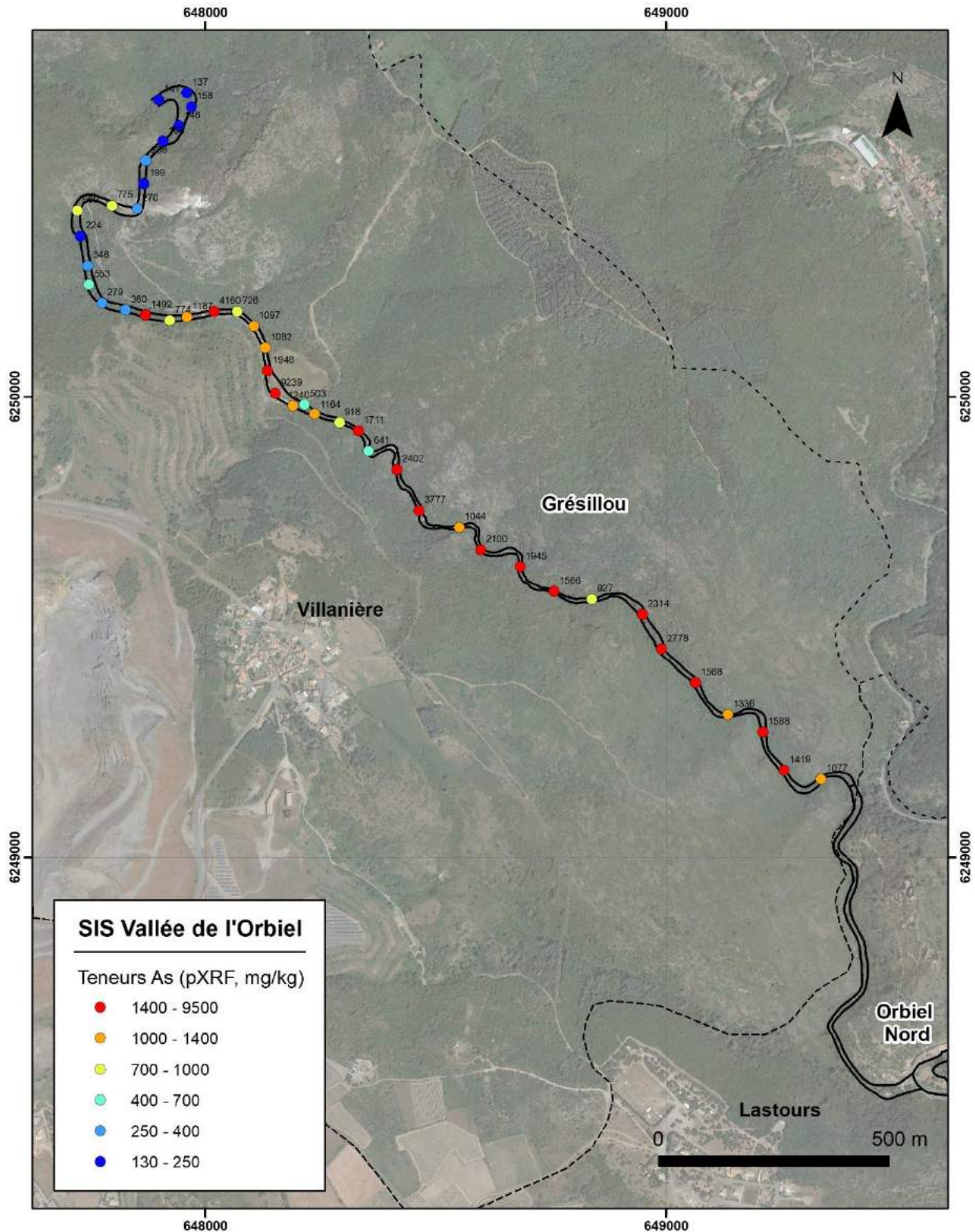


Figure 30. Concentrations en arsenic des sédiments le long du Grésillou mesurées lors de la campagne de prélèvements réalisée par le BRGM en 2021.



Les résultats des analyses en arsenic de cette nouvelle campagne dans les sédiments du Grésillou ont mis en évidence les mêmes éléments que l'étude ICF de 2006 et ENVISOL de 2020 à savoir un saut quantitatif de la concentration en arsenic au droit et en aval proche des sources verse de Ramèle/plateforme Marty/Hort Estiou.

3.3.4.2 Paléo-sédiments

Deux zones ont été investiguées : la zone de paléo-sédiment 1 correspondant à une terrasse en zone d'inondation en aval de la verse de Ramèle, en rive gauche du Grésillou, puis la zone de paléo-sédiment 2 correspondant à un banc séparant deux bras du Grésillou.



Figure 31. Localisation des paléo-sédiments

Les échantillons ont été prélevés sur plusieurs niveaux sédimentaires : du plus superficiel au plus profond (tous les 10 cm environ) pour les sédiments situés dans un banc, et de la terrasse la plus basse à la plus haute pour les paléo-sédiments en zone d'inondation.

Les cartographies des concentrations en arsenic dans les paléo-sédiments 1 et 2 sont représentées dans la figure ci-dessous. Les concentrations maximales en arsenic sont plus élevées pour les paléo-sédiments 1.

Plus précisément, pour la zone de paléo-sédiment 1, on observe une zonation verticale des concentrations en arsenic avec une augmentation en direction du bas (terrasses anciennes).



Ceci peut s'expliquer soit par le fait que les terrasses anciennes sont plus chargées en arsenic probablement quand Nartau et la fonderie étaient en fonctionnement soit par un apport de sédiments arséniés plus fréquente dans les parties basses, lit mineur du Grésillou.

L'étude de la distribution en arsenic dans les phases minérales montre qu'il est principalement contenu dans des oxy(hydroxy)des de fer et d'aluminium et associé à des sulfates. L'étude du transfert en arsenic dans les eaux de lixiviation des paléo-sédiments montre que malgré ses faibles concentrations, l'arsenic est fortement mobilisable (2% de l'As lixivié) en raison de sa distribution dans des oxy(hydroxy)des de fer et d'aluminium ± sulfates.

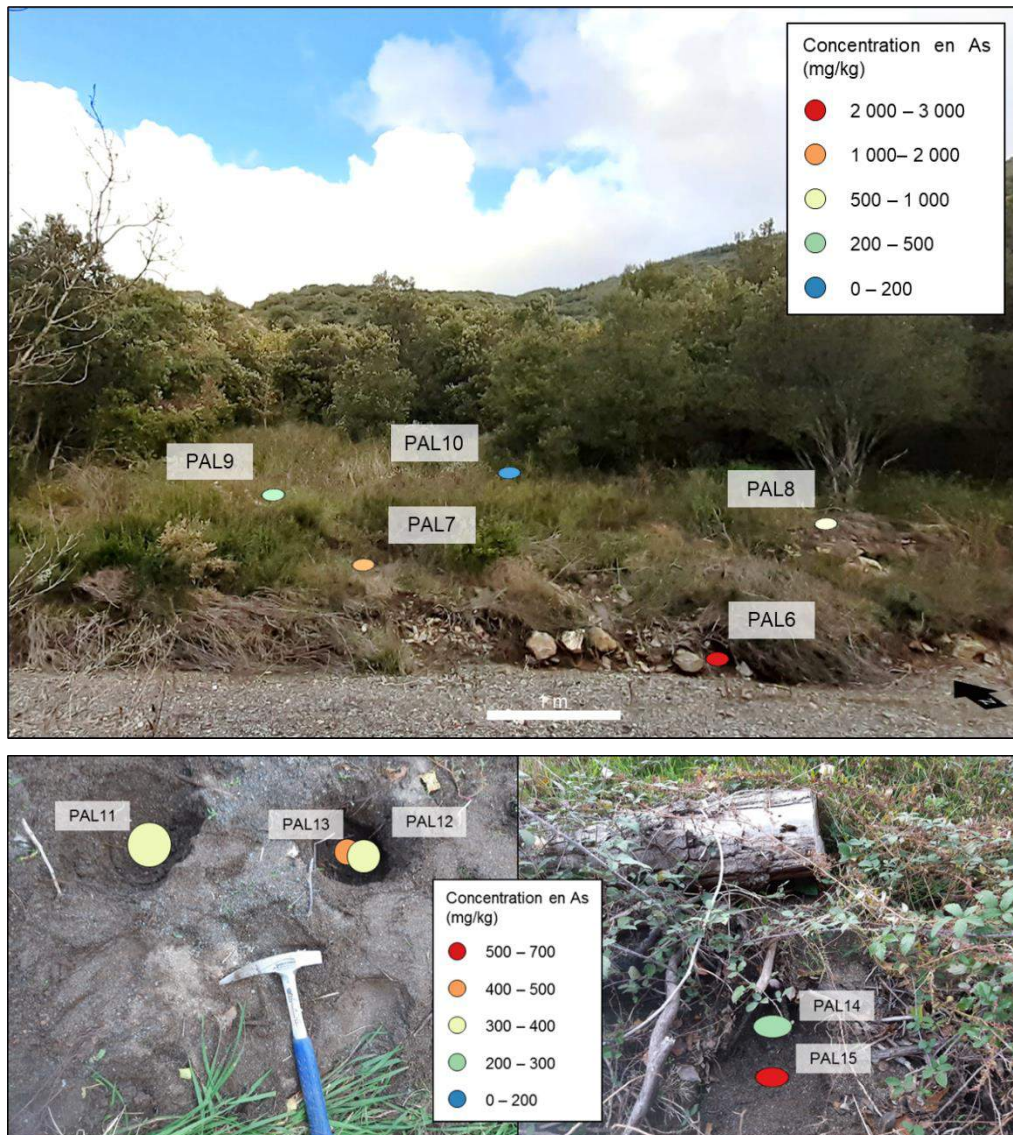


Figure 32. Cartographie des concentrations en arsenic dans les paléo-sédiments 1 et 2



3.4 Usages et sensibilité des milieux

Ce paragraphe a pour objectif de recenser les usages des différents milieux environnementaux du secteur à l'étude et leur sensibilité.

Usagers - fréquentation du site et de son environnement

Les seuls usagers recensés sur le site à l'étude sont les travailleurs ponctuels, le garde forestier en charge de l'entretien de la vallée du Grésillou, des promeneurs, chasseurs et pêcheurs.

A proximité immédiate de la zone d'étude, la densité de population est faible. Les riverains du secteur d'étude sont : les maisons individuelles du lieu-dit le Camazou à 200 m à l'ouest de la verse Ramèle et du village de Villanière à partir de 200 m au sud de la verse de Ramèle.

Une ferme photovoltaïque se situe à 500 m au Sud-Ouest du site de Nartau et à 200 m à l'ouest du toit de la verse de Ramèle.

Les usages observés au niveau du village de Lastours révèlent, en sus des habitations, la présence de petits commerces (restaurant, commerces de proximité, mairie) et de l'école communale de Lastours à la confluence exacte entre le Grésillou et l'Orbiel. Aucune zone de culture d'ampleur ou d'élevage n'a été mise en évidence.

Vers l'aval hydraulique, on peut noter des usages complémentaires associés à l'Orbiel : activités de pêche et irrigation. Les riverains sont présents en aval du Grésillou puis de l'Orbiel notamment sur la zone d'onde de crue. Les usages sont de types habitations individuelles pouvant comporter des jardins et/ou potagers et de loisirs (pêche non consommée) et ce jusqu'à la commune de Conques sur Orbiel (hameaux du Moulin d'Artigues, la Fonde, Lassac, le Sindilla, le Moulin Neuf, le Moulin Claude, la Vernède, Le Moulin de Passebosc, la Tuilerie). Toutefois, dès l'aval immédiat de Lastours, la présence de ruisseaux temporaires et des sites de la Caunette puis de La Combe du Saut représentent des sources potentiellement contributrices pour les eaux de l'Orbiel.

Des parcelles d'exploitation de bois sont présentes en amont du bassin versant du Grésillou au nord et à l'est du site de Nartau.

Les cibles peuvent être donc représentées par des adultes et/ou enfants.

Restrictions d'usage

Des restrictions d'usage (Arrêtés du 19 juin 2019 et du 13 février 2020) en lien avec la fréquentation et l'occupation résidentielle du secteur et de la vallée existent :

- interdiction de baignade ou toute autre activité dans les eaux de l'Orbiel et de ses affluents, seule la pêche avec remise en eau des poissons vivants après capture étant tolérée,
- interdiction de consommer l'eau des fontaines et sources publiques non contrôlées,
- interdiction de mise sur le marché des légumes racines, légumes feuilles, poireaux, riz cultivés en zone inondables ou irrigués par les eaux de l'Orbiel et de ses affluents,
- interdiction de consommer les eaux de l'Orbiel ou de ses affluents ou de les utiliser à des fins de remplissage de piscine.



Des recommandations sanitaires existent sur le secteur et consistent en une limitation de consommation des végétaux produits dans les jardins inondés, notamment des légumes feuilles et des poireaux, un lavage des mains fréquent après travail ou jeux en extérieur (notamment pour les enfants) et lavage humide et fréquent des sols pour limiter les mises en suspension de poussières.

Usage des eaux souterraines

Les six captages actifs AEP les plus proches sont référencés dans un rayon de 6 km de la zone d'étude sur le site de l'Agence Régionale de Santé (ARS), gérés majoritairement par le syndicat oriental des eaux (Figure 33). Aucun captage ni de périmètre de protection n'est présent sur la zone d'étude et l'intérieur du bassin versant du Grésillou.

Seul le captage de la source syndicale de Fontbarote est recensé en aval hydraulique de la vallée du Grésillou. Le captage de la Sce Syndicale de Fontbarote possède un périmètre de protection éloigné qui s'étend jusqu'à Lastours, situé en aval de la confluence avec Grésillou-Orbiel. Il s'agit d'un captage d'eaux souterraines dont le périmètre de protection est en dehors du bassin versant du Grésillou.

En synthèse, l'ensemble des captages AEP du secteur d'étude est déconnecté des écoulements de surface du Grésillou induisant l'absence de vulnérabilité des captages vis-à-vis du bassin versant du Grésillou.

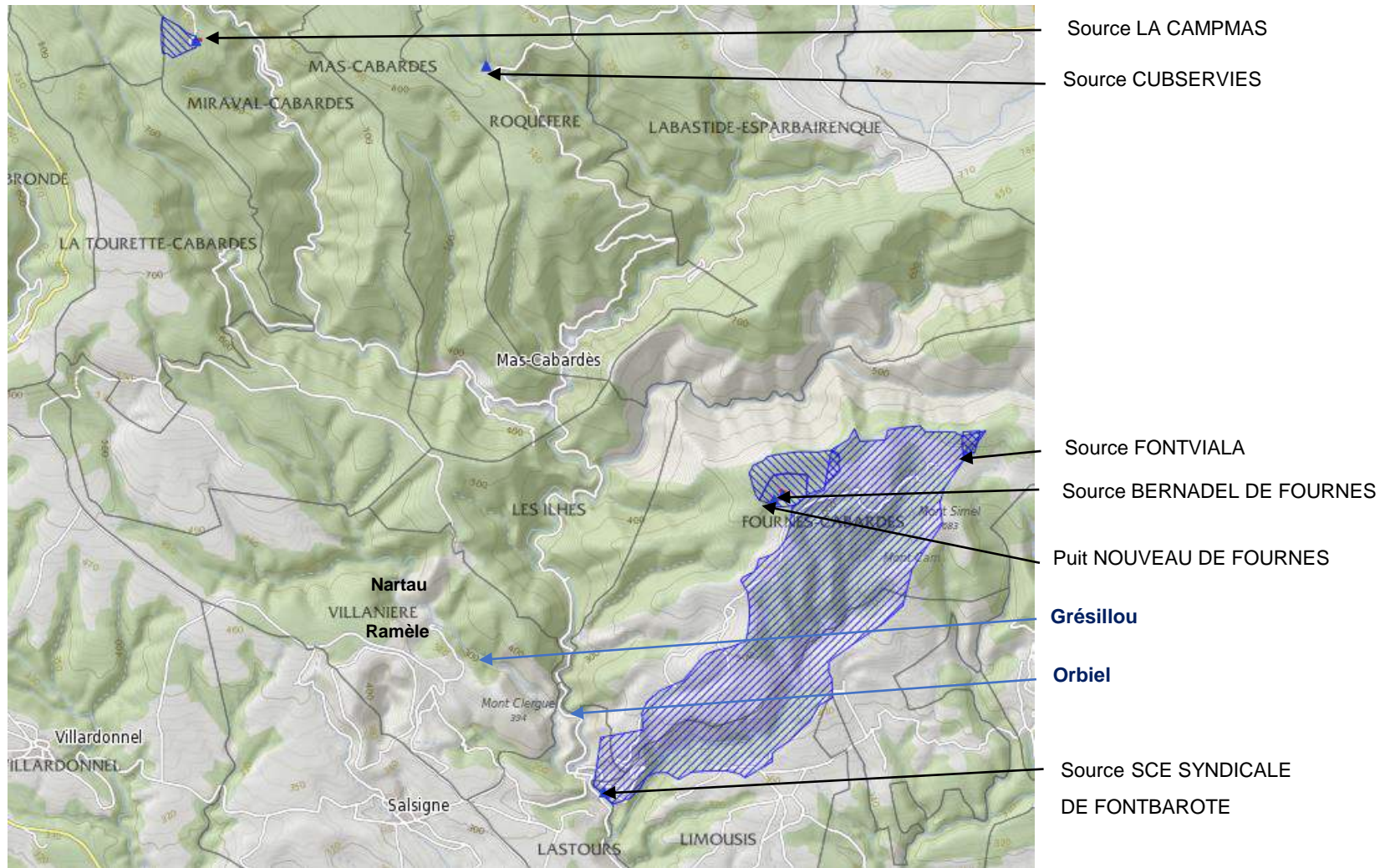


Figure 33 : Captages AEP symbolisés en triangle bleu associé à leur périmètre de protection des eaux immédiat en rouge et éloigné en bleu (données : BSS BRGM ,ARS, Agence de l'eau)



L'Agence Régionale de Santé (ARS) a par ailleurs recensé les utilisations privées de l'eau dans la vallée de l'Orbiel en 1999. La majorité des puits recensés est dédiée à l'irrigation. Certains sont également recensés pour un usage de boisson pour les élevages ou une eau de consommation. Ces puits ne sont pas présents sur le site d'étude.

Toutefois, l'ensemble des utilisations privées précitées n'est plus recensé par les services de l'ARS en 2020 et 2021 (<https://www.occitanie.ars.sante.fr/>) et la consultation en 2020 puis 2021 des services des Mairies de Lastours et Villanière n'a pas permis de recueillir le recensement d'éventuels puits privés sur le secteur.

4 CARACTERISATION DES SECTEURS ETUDIES

4.1 Bruit de fond utilisé pour la caractérisation chimique des secteurs

Le bruit de fond en arsenic du secteur d'étude a été établi sur la base de l'étude « Etablissement du fond pédo-géochimique de l'ancien secteur minier de Salsigne – Rapport provisoire – BRGM/RP-70767-FR - Juin 2021 ».

Les données de bruit de fond de référence (fond pédo-géochimique), ont été recherchées dans le but de déterminer les éventuels impacts environnementaux associés aux anciennes activités minières.

Les résultats qui ont servi à l'établissement du bruit de fond sont issus d'analyses :

- in situ par fluorescence X portable (pXRF) ;
- en laboratoire par ICP-MS et AES après digestion par eau régale.

Les bruits de fond ont été réalisés sur des sols répartis sur les deux ensembles géologiques définis comme Ensembles Géographiques Cohérents (EGC) affleurant sur la zone d'étude :

- le domaine géologique de la zone axiale, majoritairement composé de schistes et situé dans la partie nord-ouest du site d'étude ;
- le domaine géologique des nappes du Minervoises constitué de formations carbonatées et détritiques plissées du Paléozoïque situé dans la partie sud-est du site d'étude.

Les deux domaines sont illustrés dans la figure ci-après.

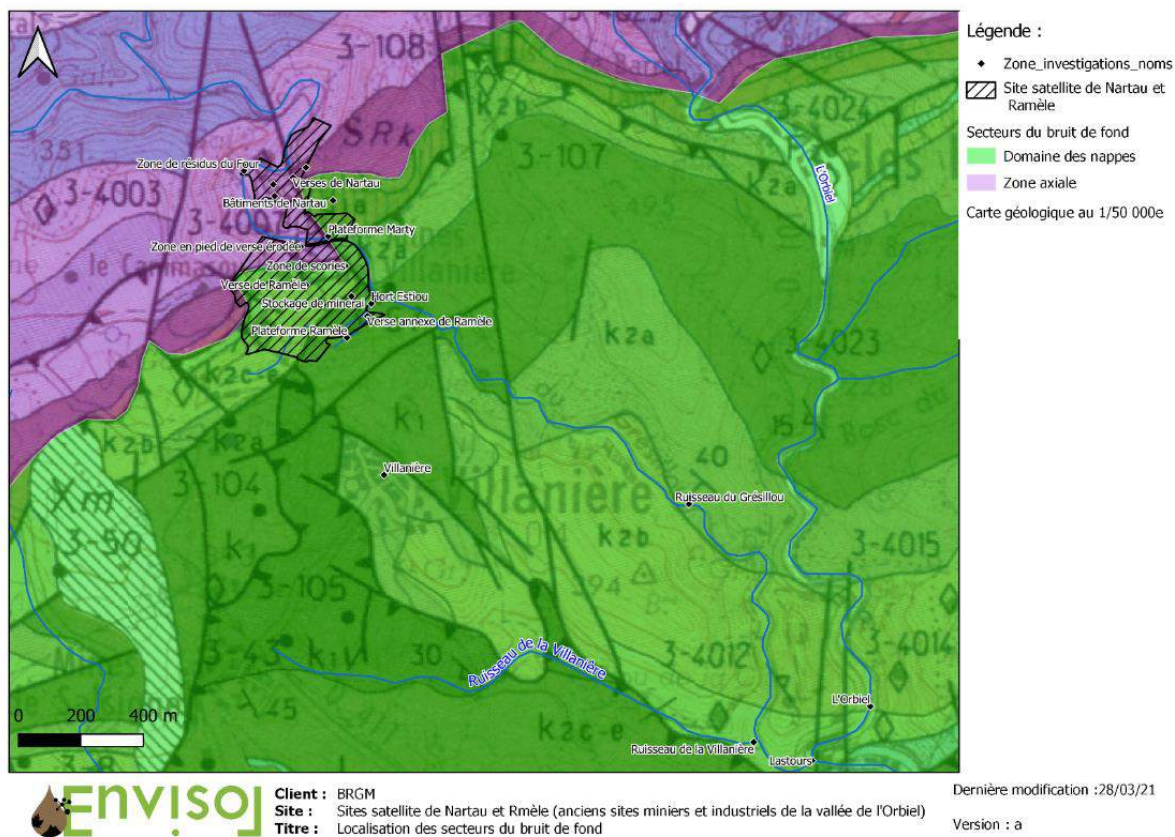


Figure 34. Localisation des 2 domaines (EGC)

Des lignes de base pédo-géochimique ont été établies à proximité des contacts entre domaine suite aux calculs selon le protocole ADEME (2018) et l'observation des cartes tous échantillons et filtrées par la méthode MAF. Pour l'arsenic, les lignes de base proposées sont, respectivement à proximité des contacts entre domaines EGC et à leurs cœurs :

- de l'ordre de 50 mg/kg et 120 mg/kg pour le domaine des nappes du Minervois (soit le domaine occupant la majorité de la verse de Ramèle et la moitié Est de la plateforme Marty) ,
- de 250 mg/kg et 267 mg/kg pour le domaine de la zone axiale (soit le domaine des secteurs de Nartau ainsi qu'une petite partie de la verse de Ramèle et la moitié ouest de la plateforme Marty).

4.2 Verses principale et secondaires de Nartau

4.2.1 Caractéristiques physiques

De 1896 à 1910, le site de Nartau a accueilli, en rive gauche du Grésillou, une exploitation souterraine (6 niveaux) associée à la mise en verse de stériles. Ces stériles ont été déversés à partir des ouvrages débouchant au jour des différentes galeries d'exploitation. Ces matériaux sont issus du triage à la main lors de l'exploitation du gîte de Nartau et incluent notamment des dépôts de produits blanchâtres constitués d'arséniates de fer. En complément, des résidus de fonderie ou de four auraient pu être déversés sur ces verses. La verse principale présente un dénivelé d'environ 85 m.



Figure 35. Vues du pied de verse de Nartau et des gabions (ENVISOL)

Une ancienne piste d'accès permet seulement d'approcher les verses de Nartau. Aucun accès ne permet à ce jour d'accéder avec des véhicules ou engins directement à la partie haute de la verse.

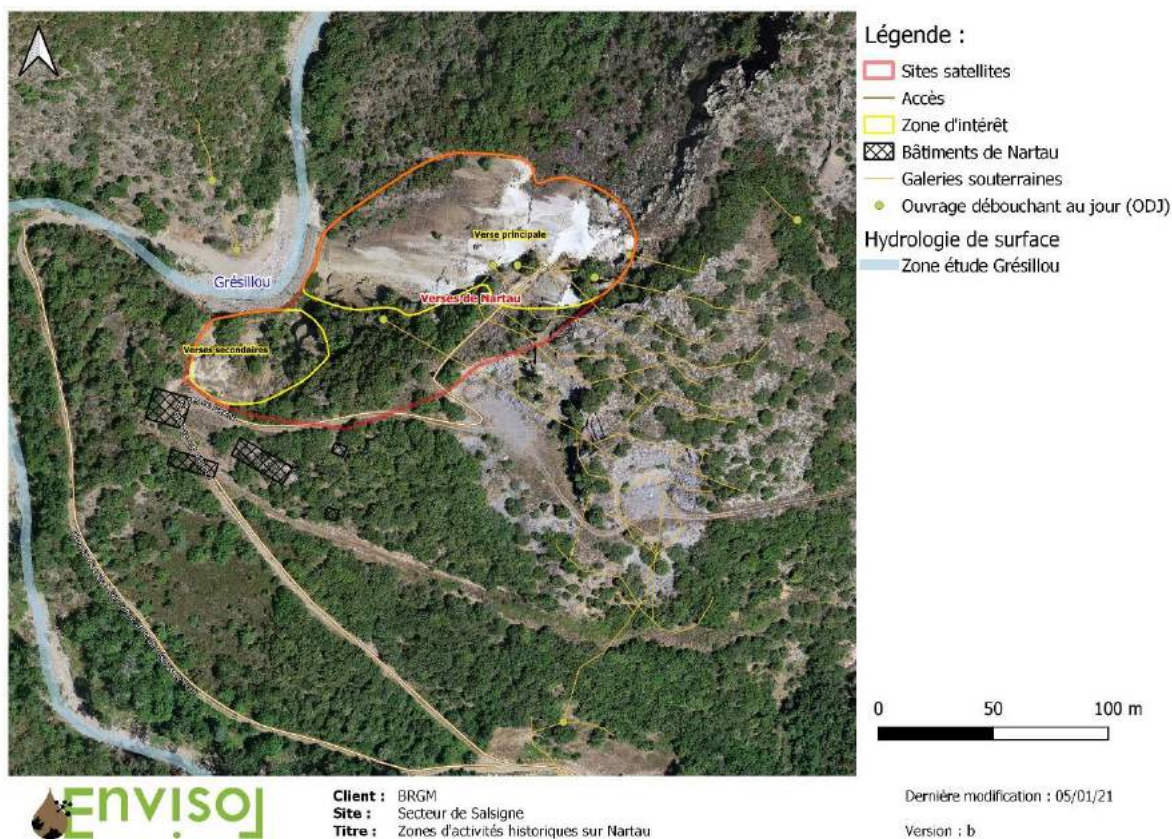


Figure 36. Zones d'activités historiques présentes sur Nartau (ENVISOL)

On distingue une verse principale et deux verses secondaires. L'étude géomorphologique (Tâches 1 et 3) réalisée par ENVISOL, a permis d'évaluer les caractéristiques physiques des verses. Ces dernières sont présentées synthétiquement au sein du tableau en page suivante.



Tableau 6. Caractéristiques des verses de Nartau

Verse principale de Nartau	
Surface estimée	7300 m ²
Pente moyenne / maximale	38° / 40°
Revêtement	75% de sols dénudés
Epaisseur matériaux	Inconnue (hypothèse 1,3 m)
Volume matériaux	Estimation 9490 m ³
Tonnage estimé de matériaux (densité 2,1)	19929 t
Verses secondaires de Nartau	
Surface estimée	1900 m ²
Pente moyenne	35°
Revêtement	50% de sols dénudés
Epaisseur matériaux	Inconnue (hypothèse 1,3 m)
Epaisseur matériaux	Estimation 2470 m ³
Tonnage estimé de matériaux (densité 2,1)	5187 t

Des dépôts de produits blanchâtres sont observés en haut de la verse principale de Nartau. Le volume associé est estimé à environ 50 % des matériaux constitutifs de la verse (constat visuel, topographies, photographies historiques...). La figure ci-après permet d'illustrer ces informations.



Figure 37. Illustrations des verses de Nartau

Les plus gros blocs sont observés en pied de verse probablement dû à un effet gravitaire. Des ferricrêtes sont observées sur les verses en haut, corps et pied. Elles ont la particularité d'être dures et résistantes à l'érosion et confèrent une certaine stabilité à la verse. Les zones de ferricrête sont illustrées dans la figure ci-dessous et ont été localisées sur la base des observations terrains et des strates caractéristiques visibles sur photo aérienne (Figure 40).



Figure 38. Photographies d'échantillons représentatifs des ferricrètes sur les verses principale et secondaire de Nartau.

4.2.2 Données sur la stabilité

La verse de Nartau ne présente pas de signes d'instabilités en grand. En effet, aucun glissement de terrain majeur n'a été observé depuis sa création. De plus, le réseau de galeries existant dans le voisinage (au nombre de 6) constitue un réseau de drainage souterrain proche (les verses ne sont pas sur les galeries mais à côté) permettant de limiter les risques de mise sous pression de la verse qui pourrait être liés à des circulations d'eau en sub-surface. Des gabions ont par ailleurs été mis en place en 2015 en pied de verse et restaurés en 2019 à l'issue de la crue de 2018.

Une étude d'Aléas a été réalisée par Géoderis en 2011 (Figure 39). Un risque de glissement/ravinement localisé est toutefois présent en lien avec la topographie de Nartau (pente supérieure à 30 °) lors d'aléas climatiques intenses. En effet, les matériaux de la verse se sont aujourd'hui naturellement mis en place dans une condition stable. Dans le cas d'événements pluvieux majeurs, le ruissellement et l'infiltration de l'eau ont pour effet de modifier les conditions de stabilité naturelle et créent ainsi des glissements jusqu'en pied de verse. Cela a été le cas en 2018, lors d'événements pluvieux violents, environ 70 tonnes de matériaux ont glissé en pied de verse. Ces matériaux ont été enlevés en pied de Nartau en octobre 2019 et envoyés vers l'ISDD d'Occitanis (81).

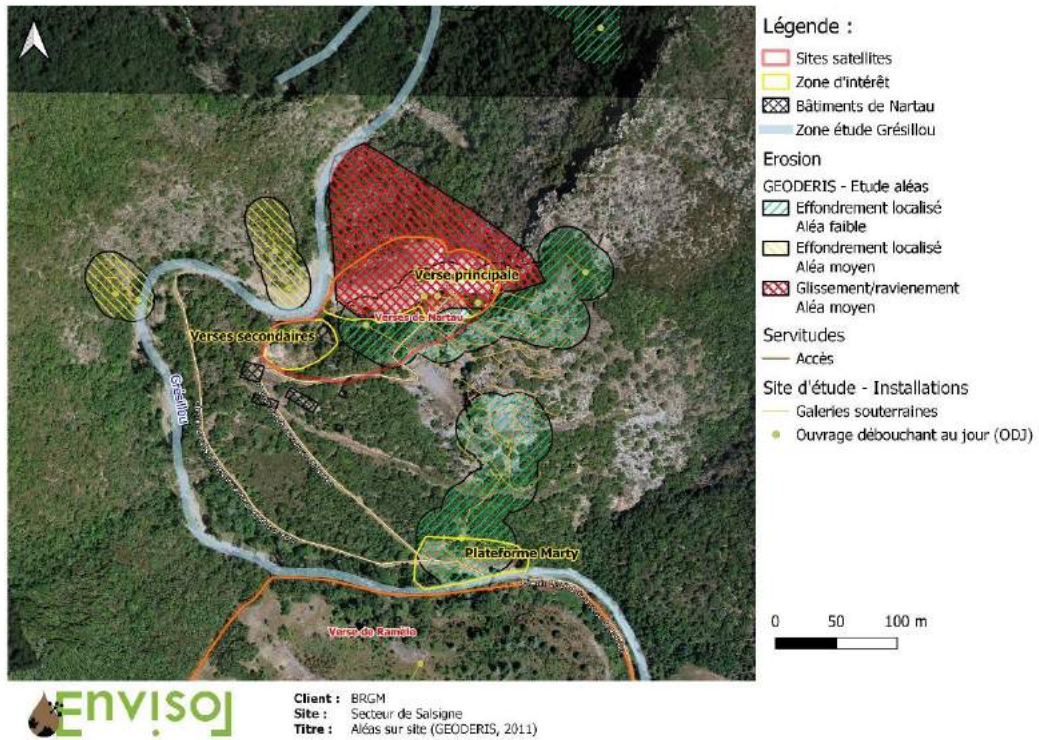


Figure 39 : Aléas sur site à partir des données GEODERIS, 2011 (ENVISOL).



Figure 40. Erosion superficielle des matériaux de la verse de Nartau observée lors des pluies exceptionnelles d'Octobre 2018 (BRGM, 2019)

4.2.3 Caractéristiques chimiques

En 2007, des mesures de terrains ont été réalisées par la société ICF dans la zone d'étude et ont concerné en particulier les verses de Nartau. Elles ont consisté en la réalisation de mesures d'arsenic en surface à l'aide d'un outil de terrain portatif (pXRF). Les mesures ont été réparties au niveau des secteurs Nartau selon des mailles de 25 x 25 m au niveau des zones accessibles. Les cartographies en As sont présentées ci-dessous.

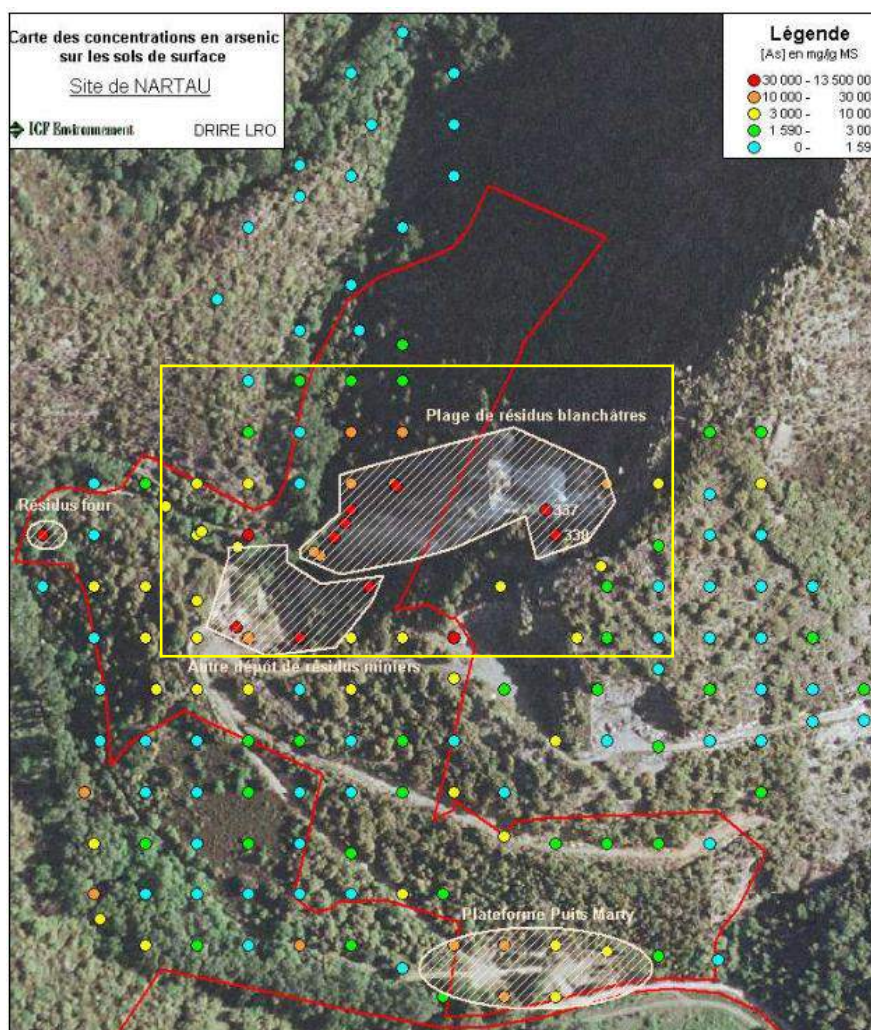


Figure 41. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur Nartau (rectangle jaune) (ICF, 2007)

Cette étude a montré que les verses principale et secondaire de Nartau présentent des concentrations largement supérieures à 30 000 mg/kg, soit plus de 2 ordres de grandeur supérieurs au bruit de fond local de 250 mg/kg. Il est à noter que les concentrations extrêmes sont liées à une probable erreur de correction des très fortes teneurs mesurées au pXRF. Cela ne remet pas en cause la supériorité de ces valeurs.

Les investigations réalisées par ENVISOL par la suite ont ciblé les zones reconnues comme impactées lors de ces premières investigations et étudié le potentiel de solubilisation de ces concentrations en arsenic.



Les analyses réalisées par ENVISOL ont montré que l'arsenic est en majeure partie contenu dans la scorodite (oxyde hydraté d'arsenic et de fer), et de façon minoritaire dans des sulfates et des sulfures. Au sein des verses de Nartau, la matrice fine blanche observée est riche en scorodite et est préférentiellement localisée à proximité des ouvertures de galerie en haut de verse. En bas de verse, la scorodite¹ est plutôt observée dans les blocs.

La cartographie des concentrations en As (par mesures pXRF corrigées) a confirmé les résultats d'ICF de 2007 et montré des concentrations plus élevées en haut de verse et pouvant atteindre 240 866 mg/kg (Figure 42). En pied de verse, une concentration maximale de 177 507 mg/kg a été relevée.

L'étude granulométrique montre que pour Nartau, le stock d'arsenic est principalement présent dans la fraction grossière (majoritaire) et sous forme d'un minéral peu soluble : la scorodite. La conjonction de la granulométrie grossière des éléments arséniés et de la faible solubilité du minéral qui les contient résulte en un taux de lixivabilité relativement faible.

Les essais de lixiviation en laboratoire sur les échantillons de haut, corps et bas de verse montrent en effet que l'arsenic est peu mobilisable dans les conditions actuelles du site. Au maximum, 0,017% de l'Arsenic ont été lixiviés à l'eau.

¹ La scorodite est un minerai issu de la dégradation de l'arsénopyrite présente en massif dans un filon en haut de verse.



Figure 42. Cartographie des concentrations en arsenic au droit des verses de Nartau

4.3 Bâtiments de Nartau

4.3.1 *Caractéristiques physiques*

Le site de Nartau a accueilli des bâtiments (four), actuellement à l'état de vestiges. Une ancienne piste d'accès permet d'y accéder. Des matériaux de démolition, tels que des blocs de béton, des poutres ou encore des briques sont présents aux emplacements des anciens bâtiments (au nombre de 5). Des matériaux remaniés (stériles) y sont également stockés. La figure en page suivante présente la zone concernée.

Des vestiges sont visibles au droit de tous les bâtiments (Figure 43).

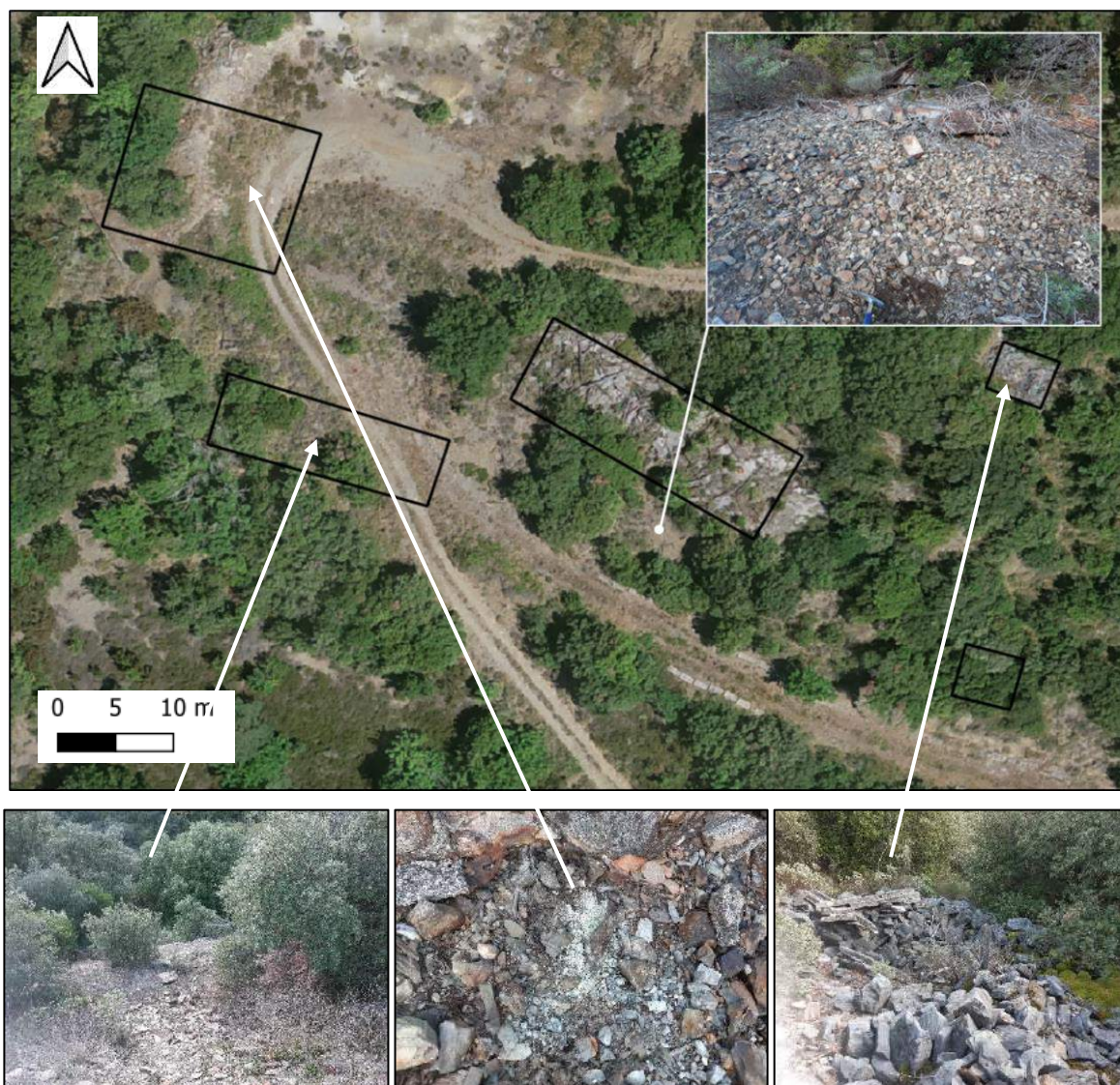


Figure 43. Illustration de la zone des bâtiments de Nartau (carré noir, emplacement des anciens bâtiments). Agrandissement sur des matériaux remaniés présents sur la zone.

4.3.2 *Données sur la stabilité*

Cette zone, relativement plane, ne présente pas d'enjeux de stabilité particulière.

4.3.3 Caractéristiques chimiques

Comme pour les verses de Nartau, des mesures de terrain ont été réalisées par la société ICF en 2007 dans la zone des bâtiments selon des mailles de 25 x 25 m. Les cartographies des concentrations en As sont présentées ci-dessous.

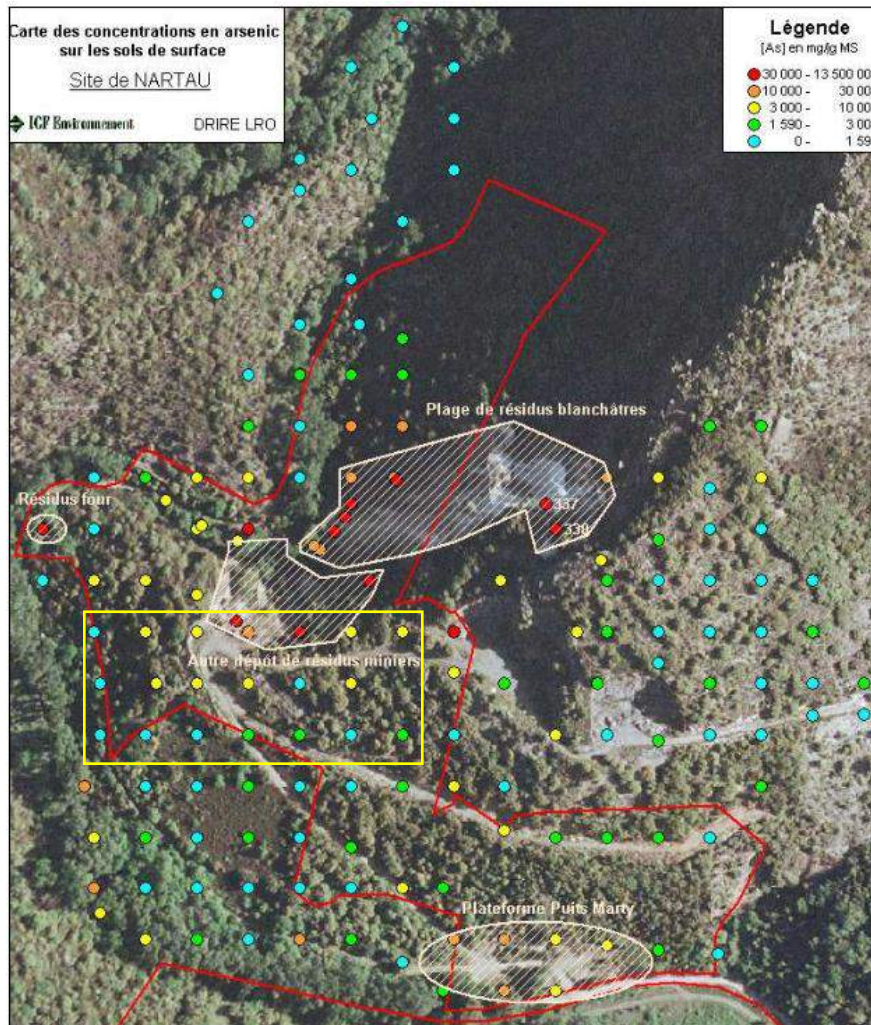


Figure 44. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur les bâtiments de Nartau (ICF, 2007)

Cette étude a montré que les bâtiments de Nartau présentent des concentrations entre 3000 et 10 000 mg/kg, soit inférieures aux concentrations sur les verses mais toujours un ordre de grandeur supérieures au bruit de fond local de 250 mg/kg. Les investigations réalisées par ENVISOL par la suite ont ciblé les zones de dépôt de matériaux.

Les investigations réalisées par ENVISOL ont montré que les matériaux investigués dans la zone des bâtiments de Nartau sont composés en moyenne de 67% de graves et bloc. Les blocs sont composés de schistes peu ou pas minéralisés, de fragments de quartz, de blocs de béton (plusieurs décimètres), ou encore de briques. Un tas matériaux rocheux (BAT8) comporte notamment des blocs de schistes minéralisés et/ou calcinés qui incluent des blocs de minerai friable à scorodite.



Figure 45. Cartographie des concentrations en arsenic relevées par ENVISOL au droit des bâtiments de Nartau

Les cartographies des concentrations en arsenic relevées par ENVISOL indiquent que les plus fortes concentrations sont situées à proximité d'un haut de verse secondaire de Nartau (BAT4, BAT5 et BAT6) ainsi qu'au droit du tas de roches (BAT8).

Ces matériaux investigués au droit de bâtiments de Nartau présentent des anomalies en As avec des concentrations au moins 4 fois supérieures au bruit de fond de 250 mg/kg.

4.4 Zone de résidus de four

4.4.1 Caractéristiques physiques

Une zone au droit de laquelle des résidus de four ont été stockés par le passé a été mise en évidence lors de l'étude ICF en 2007 et nommée « zone de résidus de four ».

En 2015, un décapage des matériaux d'une partie de cette zone sur environ 100 m² a été réalisé en prenant un seuil de coupure de 3 000 mg/kg en arsenic et en vérifiant l'absence résiduelle de matériaux blanchâtres. Cette opération avait pour but d'éviter toute mise en contact de ces résidus avec le Grésillou en période de hautes eaux. Les matériaux évacués depuis cette zone ont été substitués par des matériaux du lit du Grésillou recueillis en amont de la zone.



Sur la zone, des affaissements dus à la crue d'octobre 2018 sont visibles avec des zones emportées par celle-ci (Figure 46). Des tas de résidus, après la crue de 2018, sont également visibles, révélés et/ou apportés par celle-ci.

L'étude géomorphologique (Tâches 1 et 3) réalisée par ENVISOL, a permis d'évaluer les caractéristiques physiques de la zone (fondé sur constats visuels) :

Tableau 7. Caractéristiques de la zone de résidus de four

Zone de résidus de four	
Surface estimée	240 m ²
Pente moyenne	6-10°
Revêtement	Végétation épars
Epaisseur matériaux	Inconnue (hypothèse 1,25 m)
Volume matériaux	Estimation 300 m ³
Tonnage estimé de matériaux (densité 2,1)	630 t

La figure suivante présente la zone concernée.



Figure 46. Illustration de la zone des résidus de four

4.4.2 Données sur la stabilité

Cette zone, relativement plane, ne présente pas d'enjeux de stabilité particulière en soi. En revanche, elle est située dans l'onde de crue du Grésillou et est donc potentiellement érodable lors de crues comme l'a montré celle de 2018.

4.4.3 Caractéristiques chimiques

Des mesures de terrains ont aussi été réalisées par la société ICF en 2007 sur la zone de résidus de four selon des mailles de 25 x 25 m. Les cartographies en As sont présentées ci-dessous.

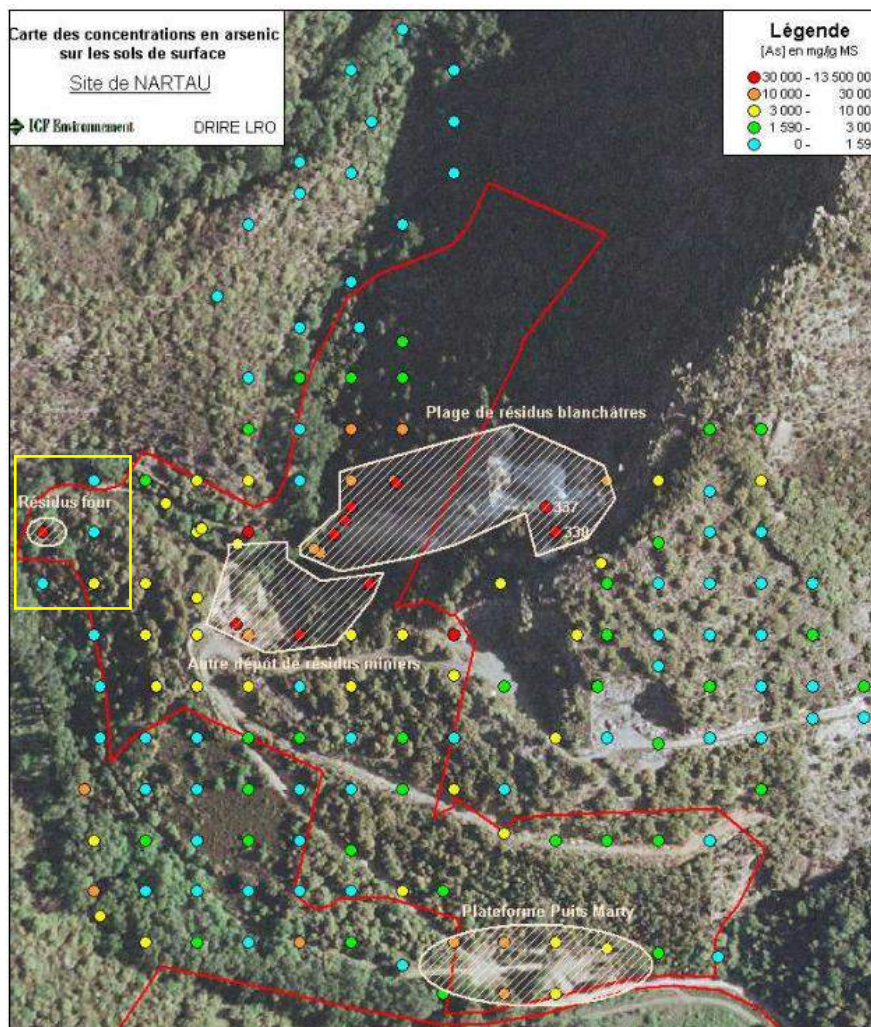


Figure 47. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur la zone de résidus de four (rectangle jaune) (ICF, 2007)

Cette étude a montré que les résidus de fours présentaient, avant travaux de décapage de 2015, au niveau d'un tas en bordure du chemin d'accès aux vers de Nartau, des concentrations supérieures à 30 000 mg/kg, soit équivalentes aux concentrations des vers de Nartau et donc de plusieurs ordres de grandeur supérieures au bruit de fond local de 250 mg/kg.

Dans un mémoire de fin de travaux, Minélias, a présenté les concentrations résiduelles, après le décapage de 2015 (Figure 47). Les concentrations en As varient de 342 à 4988 mg/kg et sont donc supérieures au bruit de fond local de 250 mg/kg.



Figure 48. Cartographie des concentrations en As sur la zone de résidus de four après le décapage de 2015, réalisée à partir des données Minélias (ENVISOL)

Afin de vérifier l'état du milieu sol sur cette zone et compte tenu des observations terrain après la crue de 2020, les investigations d'ENVISOL ont donc ciblé la zone du tas en talus de chemin d'accès (RES9 et RES10), une masse qui a été partiellement emportée lors de la crue de 2018 (RES4 à RES8) et la (sub)surface du lit majeur du Grésillou qui soutenait les matériaux emportés par la crue de 2018 (RES1 à RES3).

La zone de tas et de masse de matériaux contient des blocs composés de schistes plus ou moins minéralisés et oxydés contenant localement du minerai altéré à scorodite.



Figure 49. Photographies des zones échantillonnées au droit de la zone de résidus de four de Nartau.



La cartographie des concentrations en arsenic (voir figure en page suivante) indique que les plus fortes valeurs sont situées au droit du sol sous-jacent aux matériaux emportés par la crue de 2018 et au droit des tas en talus du chemin d'accès. La crue a ainsi mis à nu des matériaux proches du lit mineur du Grésillou dont les teneurs sont significatives (1,4% en RES3).

L'étude granulométrique montre que pour la zone de résidus de four, le stock d'arsenic est principalement présent dans la fraction grossière (majoritaire) et sous forme de minéraux peu solubles : la scorodite et la jarosite. De la conjonction de la granulométrie grossière des éléments arséniés et de la faible solubilité du minéral qui les contient résulte un taux de lixivabilité relativement faible.

Les essais de lixiviation ont montré que l'arsenic est peu mobilisable dans l'eau probablement en raison de la stabilité des phases dans lesquelles il se trouve (e.g. jarosite \pm oxy/hydroxydes de fer et sulfures). Le pourcentage d'arsenic lixiviable est en effet de 0,012 %.



Figure 50. Cartographie des concentrations en arsenic (en mg/kg) au droit de la zone des résidus de four

4.5 Plateforme Marty

4.5.1 Caractéristiques physiques

L'activité passée de la plateforme Marty reste inconnue. Elle représente une plateforme plane et légèrement surélevée par rapport au lit du Grésillou, sise en contrebas de la carrière de calcaire historique de Nartau. Des enrochements la rendent inaccessible aux véhicules motorisés. Un puits (appelé puits Marty) est également présent sur cette zone et permettait l'accès au travers-banc Marty puis aux galeries d'exploitation de Nartau. Celui-ci a été comblé en 2003. La plateforme peut se retrouver partiellement sous eau en cas de crue (élévation du niveau d'eau).

En 2015, des matériaux de la zone de résidus de four ont été stockés sur la plateforme (environ 150 m³). Ces matériaux apportés ont été recouverts de matériaux sains sur une épaisseur de 50 cm environ, désormais végétalisés.



Un premier arrachement de la partie basse de la plateforme s'est produit lors de la crue d'octobre 2018. En sus, des matériaux sous la forme d'un muret ont également été mis à nus par le Grésillou lors de la crue de mai 2020. En flanc de versant (partie nord), des tas de matériaux ont également été mis en évidence.

L'étude géomorphologique (Tâches 1 et 3) réalisée par ENVISOL, a permis d'évaluer les caractéristiques physiques de la plateforme :

Tableau 8. Caractéristiques de la plateforme Marty

Plateforme Marty	
Surface	2000 m ²
Pente moyenne	23° (Pente intégrative)
Revêtement	25% de sols dénudés
Epaisseur matériaux	Inconnue (hypothèse 2 m)
Volume matériaux	Inconnu (hypothèse 4000 m ³)
Tonnage estimé de matériaux (densité 2,1)	8400 t

La figure suivante présente la zone concernée.



Figure 51. Illustration des éléments constitutifs de la plateforme Marty

4.5.2 Données sur la stabilité

Comme pour la zone des résidus de four, cette zone, relativement plane, ne présente pas d'enjeux de stabilité particulière en soit. Sous la plateforme, deux galeries sont présentes et constituent un réseau de drainage souterrain permettant de limiter les risques de mise sous pression de la verse qui pourrait être liées à des circulations d'eau en sub-surface.

En revanche, elle est située également dans la zone de crue du Grésillou et est régulièrement érodée comme cela s'est produit lors des crues de 2018 et de 2020.

4.5.3 Caractéristiques chimiques

Des mesures de terrains ont, comme pour les autres zones, été réalisées par la société ICF en 2007 sur la plateforme Marty selon des mailles de 25 x 25 m. Les cartographies en As sont présentées ci-dessous.

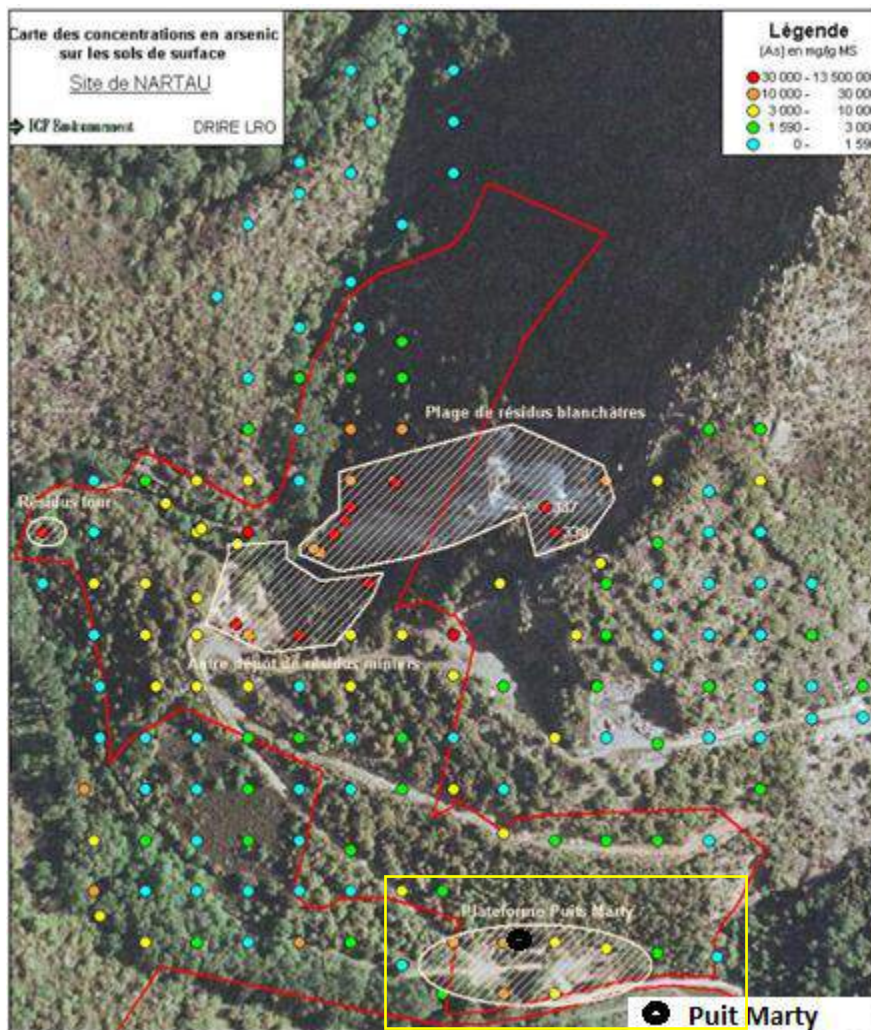


Figure 52. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur la plateforme de Marty (rectangle jaune) (ICF, 2007)

Cette étude a montré que la plateforme Marty, pour partie recouverte par des matériaux d'apports sains en 2015, présentait au niveau d'un tas en bordure du chemin d'accès aux vers de Nartau des concentrations maximales allant de 10 000 à 30 000 mg/kg, soit des concentrations sensiblement inférieures aux concentrations des vers de Nartau mais toujours de 1 à 2 ordres de grandeur supérieurs au bruit de fond local de 250 mg/kg. Les investigations réalisées par ENVISOL par la suite ont ciblé les zones reconnues comme impactées.

Les investigations ont consisté en la caractérisation des matériaux mis à nus après la crue de 2020, les tas de matériaux observés sur la zone, les terres utilisées pour recouvrir les matériaux issus de la zone de résidus de four et les matériaux présents sous les terres saines apportées en 2015.



Les matériaux mis à nus par la crue de 2020 et sous les terres saines investiguées sont composés en moyenne de 75% de graves et blocs (38 à 86%) et 25% de matrice fine (< 2mm). Les blocs correspondent à des matériaux minéralisés très riches en oxydes. Au regard de l'abondance d'oxydes, ces matériaux s'apparentent à du minerai, ce qui laisse supposer que la plateforme servait probablement au stockage du minerai extrait via le puits.

Concernant les matériaux mis à nu par les crues, la matrice fine est relativement indurée et cimente les blocs entre eux ce qui limiterait la mobilité des polluants et les surfaces d'échange lors des processus de lixiviation.

Les matériaux constituant les tas correspondent à des schistes stériles ou minéralisés, à du minerai altéré à scorodite ou à des blocs calcinés.

Les matériaux de recouvrement sont composés en moyenne de 38% de fraction grossière (22 à 68%) avec des blocs correspondant à des calcaires et de 62% de matrice fine (< 2mm) correspondant à des limons bruns végétalisés.



Figure 53. Photographies des matériaux présents sur la plateforme de Marty.

Les analyses chimiques multi élémentaires montrent que les matériaux mis à nus par la crue et sous les terres saines ainsi que les tas de matériaux ont une origine commune correspondant à du minerai plus ou moins enrichis (gamme de concentration en As observée entre 0,5 à 7,2%).

L'étude de la distribution en arsenic dans les phases minérales montre qu'il est probablement contenu dans la jarosite, des oxyhydroxydes de fer arséniés (i.e. scorodite) et des sulfures (i.e. arsénopyrite ± pyrite). Ces phases sont assez stables.

L'étude granulométrique montre que pour les matériaux mis à nu et les tas de matériaux, le stock d'arsenic est principalement présent dans la fraction grossière (majoritaire) et sous forme de minéraux peu solubles : la jarosite, la scorodite. La conjonction de la granulométrie grossière des éléments arséniés et de la faible solubilité du minéral qui les contient résulte en un taux de lixivabilité relativement faible.

Les essais de lixiviation confirment les hypothèses puisqu'ils montrent que l'arsenic est faiblement mobilisable avec des résultats de 0,0024 % et 0,009 % au maximum d'As lixiviés, pour les matériaux mis à nu par la crue de 2020 et les tas de matériaux, respectivement.

Les terres de recouvrement ont une composition chimique à composante calcaire et montre des concentrations en arsenic inférieures au bruit de fond de l'unité géologique de la zone axiale.



Les résidus de four apportés et recouverts n'ont pas été rencontrés lors de cette étude (le rapport de suivi des travaux mentionne un volume de 150 m³ transféré dans la plateforme Marty). Leur caractérisation lors des études précédentes fait état de résidus blanchâtres avec des concentrations pouvant atteindre 16,8 % en As avant mise en place.



Figure 54. Cartographie des concentrations en arsenic au droit de la plateforme Marty



4.6 Verse de Ramèle

4.6.1 *Caractéristiques physiques*

La verse de Ramèle est accessible par l'est par un chemin privé praticable en voiture et par le haut de la verse depuis la route départementale D411. Elle présente 2 flancs, l'un exposé Est et le second Nord Nord-Est.

Le site de Ramèle, avant d'être occupé par une verse, a accueilli la fonderie de la Villanière, construite en 1909. Plusieurs activités étaient encore présentes et visibles sur des photographies historiques de 1951 : une cheminée, une trainasse reliant la partie haute du site aux infrastructures du contrebas, une laverie nord et le barrage associé à son fonctionnement pour l'alimentation en eau, des fours, une zone de stockage de scories et déchets de production ainsi qu'une zone de stockage de minerai.

Des galeries d'exploration sont présentes sous la verse de Ramèle (galerie Marguerite, galerie d'aériage, travers-banc Hort-Estiou). Des produits (anhydride arsénieux) y auraient été stockés dans les années 30 dans les galeries d'exploration. Plus de 20 tonnes de ces produits ont fait l'objet d'une évacuation en 1983.

La verse de Ramèle a été construite au droit de l'ancienne fonderie avec les stériles de la mine à ciel ouvert entre 1985 et 1992 (stériles principalement, mais également possiblement des matériaux issus de la fonderie de Villanière). Les stériles sont stockés selon une alternance de talus et de banquettes plurimétriques aujourd'hui partiellement revégétalisées.

Par comparaison entre la carte digitalisée de 1985 et un MNT de 2019, une cartographie des épaisseurs des stériles sur la verse a été estimée. L'épaisseur des matériaux est de quelques mètres à une soixantaine de mètres (Figure 57). Le bas de verse présente les épaisseurs les plus faibles, notamment au droit de l'ancienne zone de stockage des résidus de fonderie/scories/bassin de décantation. Les épaisseurs maximales se trouvent logiquement au droit de l'ancien thalweg de l'Hort-Estiou. La figure 57 montre deux zones rouges (nord et est), où la topographie passée est supérieure à celle actuelle. Cela peut être dû à la précision du document historique qui n'est pas comparable avec le MNT fourni en 2019, à la présence de végétation et/ou à la restructuration de routes à proximité.

En pied de verse, une zone érodée par le Grésillou a été observée, à proximité des anciens bassins de décantation de l'usine de Villanière.

L'étude géomorphologique (Tâches 1 et 3) réalisée par ENVISOL, a permis d'évaluer les caractéristiques physiques de la verse :



Tableau 9. Caractéristiques de la verse de Ramèle

Verse de Ramèle	
Surface	162 000 m ² (300 000 m ² en 3D / surface développée)
Pente moyenne / pentes spécifiques	27° / 33-50° (talus) / <10 °(banquettes)
Revêtement	Végétalisé
Epaisseur matériaux	5 – 60 m
Volume matériaux estimé	5 320 000 m ³
Tonnage estimé de matériaux (densité 2,1)	11 172 000 t

Une zone de dépôt à côté de la verse de Ramèle au sud de l'Hort Estiou a été appelée verse annexe de Ramèle mais est sans commune mesure avec la verse de Ramèle compte tenu des volumes concernés. Elle est constituée de matériaux déversés et est localisée en rive droite du ruisseau de l'Hort Estiou. Elle est accessible par un chemin privé.

L'étude géomorphologique (Tâches 1 et 3) réalisée par ENVISOL, a permis d'évaluer les caractéristiques physiques de la verse annexe :

Tableau 10. Caractéristiques de la verse annexe de Ramèle

Verse annexe de Ramèle	
Surface estimée	100 m ²
Pente moyenne	27° (pente intégrative) / 33-50° (pentes des talus) / <10 °(pente moyenne des banquettes)
Revêtement	Végétalisé
Epaisseur matériaux estimée	Inconnue (hypothèse 1,5 m)
Volume matériaux estimé	150 m ³
Tonnage estimé de matériaux (densité 2,1)	315 t



Figure 55. Illustration de la verse annexe de Ramèle

Les figures suivantes présentent la zone concernée et l'épaisseur des dépôts.



Figure 56. Illustration de la verse de Ramèle et de la zone érodée en pied de verse.

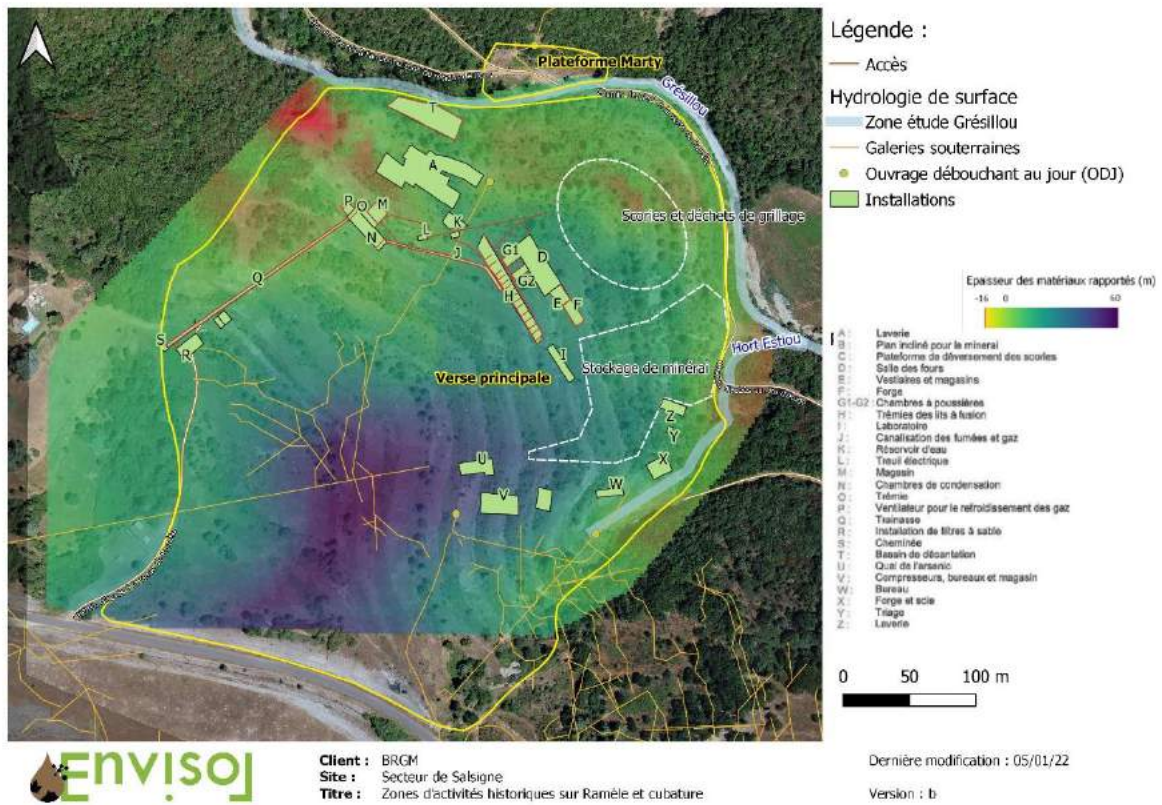


Figure 57. Epaisseur des matériaux rapportés pour construire la verse Ramèle.

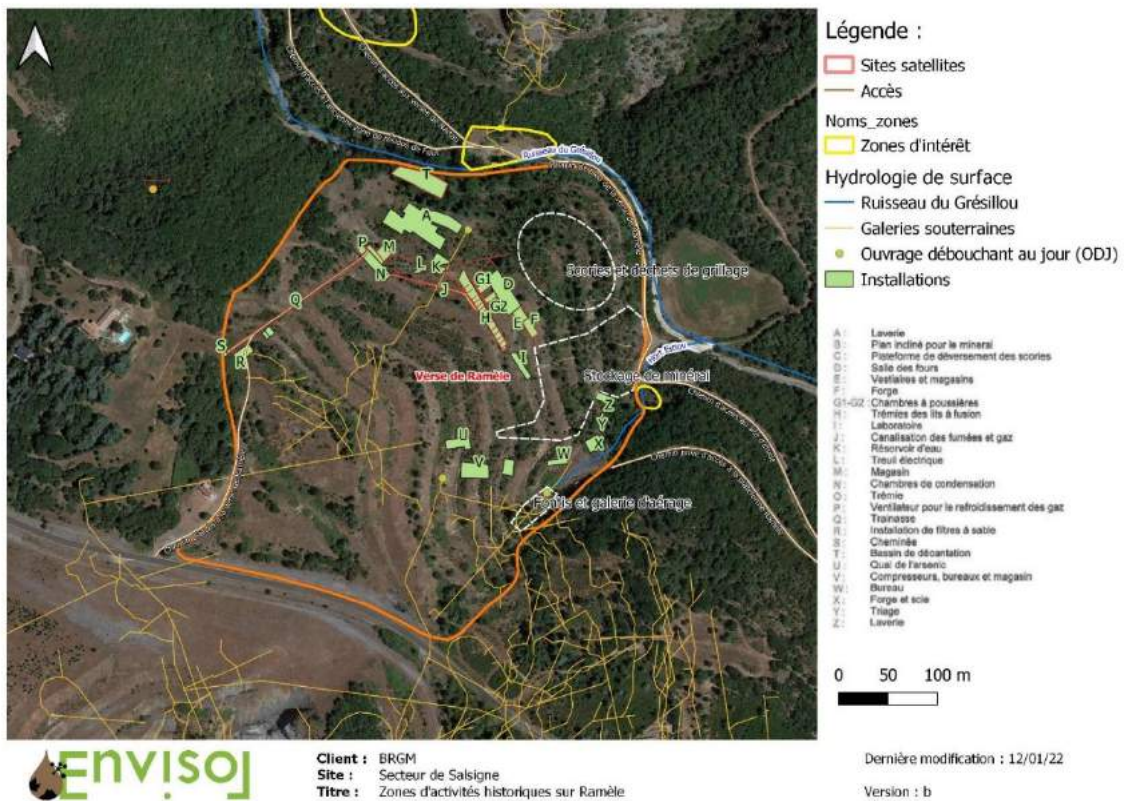


Figure 58. Zones d'activités historiques sur Ramèle (ENVI SOL)

4.6.2 *Données sur la stabilité*

D'un point de vue géotechnique, la verse de Ramèle ne présente pas de signe d'instabilité en grand. Toutefois, un effondrement localisé des sols sous pression de terres et présence de cavité sous-jacente (fontis) s'est produit en 2008 au niveau de la plateforme Ramèle et a été remblayé (localisé approximativement en Figure 64).

Lors de la visite de site de janvier 2020 réalisée par ENVISOL, un glissement superficiel a été observé depuis la plateforme Ramèle, au niveau de ce qui a été la galerie d'aérage Ramèle. La date à laquelle a eu lieu l'effondrement reste inconnue.



Figure 59. Glissement superficiel observé au droit de la galerie d'aérage Ramèle (Janvier 2020)

4.6.3 *Caractéristiques chimiques*

En 2007, des mesures de terrains ont été réalisées par la société ICF. Elles ont consisté en la réalisation de mesure d'arsenic en surface à l'aide d'un outil de terrain portatif (pXRF). Les mesures ont été réparties au niveau de la verse de Ramèle selon des mailles de 25 x 25 m au niveau des zones accessibles. Les cartographies en As sont présentées ci-dessous.

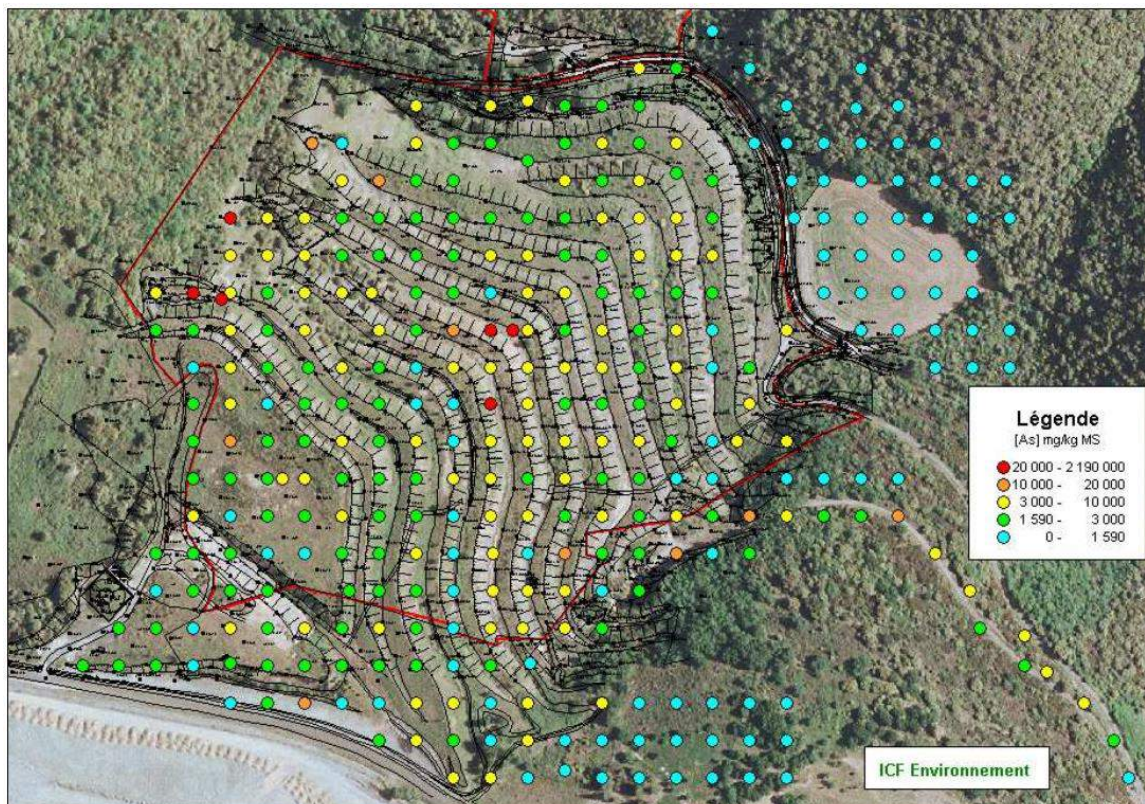


Figure 60. Cartographie des concentrations en As réalisée au XRF sur Nartau et Ramèle (ICF, 2007)

Cette étude a montré que la verse de Ramèle présentait des concentrations supérieures à 20 000 mg/kg dans deux zones restreintes, soit plusieurs ordres de grandeur supérieurs au bruit de fond local de 50-120 mg/kg. Quelques zones d'impact secondaires dispersées présentaient des concentrations comprises entre 10 000 et 20 000 mg/kg. Le reste de la verse présente des concentrations inférieures à 10 000 mg/kg. Il est à noter que les valeurs extrêmes, voire aberrantes (e.g. 2,19 kg/kg), indiquées sur la figure 60 sont liées à une probable erreur de correction des très fortes teneurs mesurées avec l'appareil. Il n'en demeure pas moins que ces valeurs sont très élevées et supérieures aux autres teneurs mesurées sur le site

Les investigations réalisées par ENVISOL par la suite ont ciblé des zones d'impact précédemment mis en évidence ainsi que le bas de verse :

- la zone d'impact mise en évidence lors de l'étude d'ICF en 2007, située à proximité de l'ancienne cheminée de la fonderie ;
- la zone d'impact mise en évidence lors de l'étude d'ICF en 2007 en corps de verse, située au-dessus de nombreux couloirs de ravinement se dirigeant vers le Grésillou ;
- en bas de verse, dans une zone située en contrebas de l'ancienne zone de stockage des scories ;
- en pied de verse Ramèle en contrebas des anciens bassins de décantation au niveau de la berge de la rive droite du Grésillou.

La zone d'impact à proximité de l'ancienne cheminée de la fonderie située dans la partie supérieure de la verse Ramèle est caractérisée par de très fortes pentes. Les blocs incluent des schistes et des pelites stériles, des matériaux riches en sulfures oxydés, des scories et du minerai altéré à scorodite. Une matrice fine grise à blanche est observée (RAM1). Celle-ci est par ailleurs observée de façon individualisée.



Figure 61. Photographies d'échantillons représentatifs de la zone d'impact à proximité de l'ancienne cheminée de la fonderie de la verse de Ramèle.

La zone d'impact en corps de verse surplombe et inclut de nombreux couloirs de ravinement plus ou moins continus jusqu'au Grésillou à proximité de Mine 2. Les blocs observés incluent des quartzites, des schistes blancs, des schistes fortement oxydés et du minerai altéré à scorodite. La matrice fine blanche est localement observée (RAM8).

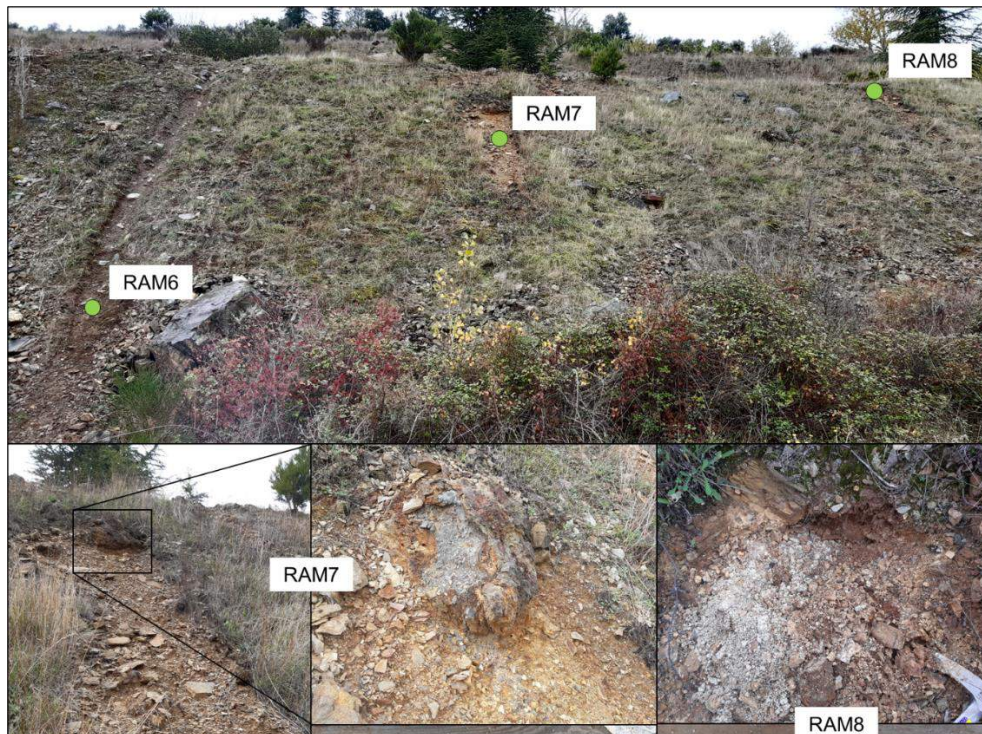


Figure 62. Photographies des matériaux situés dans les zones de ravinement au droit de la zone d'impact en corps de verse de Ramèle

Le pied de verse investigué de Ramèle se situe en contre bas des anciens bassins de décantation sur la rive droite du Grésillou. La zone est érodée par le Grésillou. L'affleurement investigué est caractérisé par une alternance de dépôts stratifiés fins et grossiers dont le pendage suggère que ces matériaux correspondent à des dépôts successifs de talus. Les blocs incluent des quartzites, des schistes, des pélites, des argilites et des matériaux indurés de granulométrie mixte de type ferricrête. L'uniformité de la taille des blocs suggère qu'il s'agit de matériaux concassés.



Figure 63. Photographies des matériaux situés au pied de la verse Ramèle érodé par le Grésillou

Les concentrations maximales en arsenic sont observées au droit des matrices fines blanches sur les zones d'impact de l'ancienne cheminée et du corps de verse (RAM1 et RAM8) avec des concentrations comprises entre 24 727 mg/kg et 218 000 mg/kg. Le bas de verse présente les concentrations en As les moins élevées (médiane de 198 mg/kg) qui sont donc du même ordre de grandeur que les concentrations de bruit de fond du domaine des nappes du Minervois (50-120 mg/kg).

Les analyses minéralogiques ont montré que la matrice blanche observée correspond à de l'anhydride arsénieux, fortement mobilisable. Les essais de lixiviation ont montré que 37 % de l'arsenic a été lixivié par l'eau.

En pied de verse, l'arsenic est contenu dans des oxy(hydroxy)des et les sulfates de fer et dans des sels/sulfates solubles. L'étude granulométrique montre que le stock d'arsenic est principalement présent dans la fraction fine. La conjonction de la granulométrie fine des éléments arséniés et de la forte solubilité des minéraux qui les contiennent résulte en un taux de lixivabilité relativement élevé.

Les essais de lixiviation ont montré que 2 à 4 % de l'arsenic étaient lixiviables à l'eau en raison de la désorption de l'arsenic des carbonates et son association avec des sels/sulfates solubles.



Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Localisation des résultats de la campagne investigations sur la verse de Ramèle

Dernière modification : 03/02/22

Version : c

Figure 64. Cartographie des concentrations en arsenic au droit de la verse de Ramèle

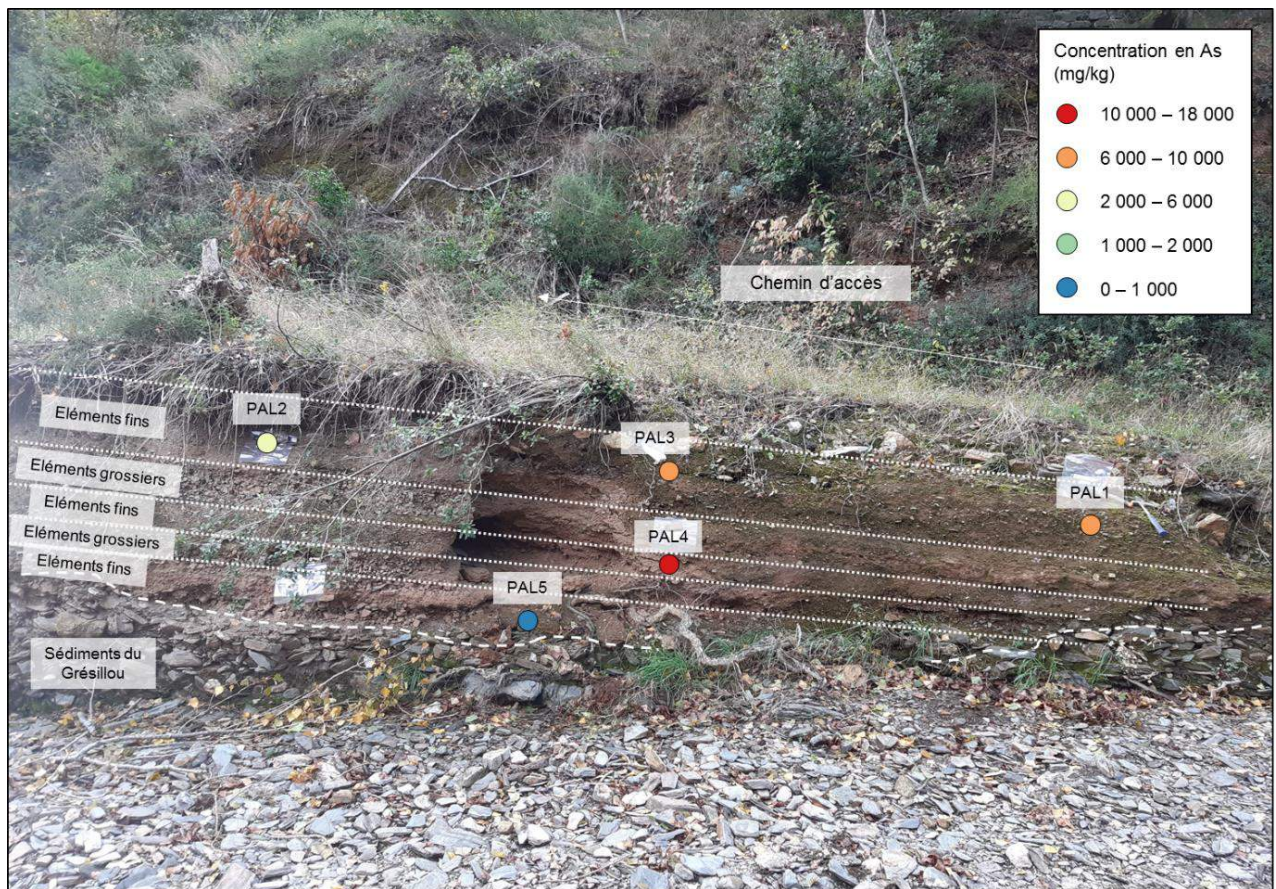


Figure 65. Cartographie des concentrations en arsenic au pied de verse érodé de Ramèle

La zone Annexe de la verse de Ramèle a également fait l'objet d'une caractérisation par ENVISOL en raison de son potentiel d'érosion. Cette zone est composée d'un tas de blocs composés de schistes minéralisés, de quartzite et de schistes jaunes.



Figure 66. Photographie d'échantillons représentatifs des matériaux de la verse annexe de Ramèle

La cartographie des concentrations est représentée dans la Figure 67. Au regard des investigations réalisées, les fortes concentrations en arsenic semblent être préférentiellement localisées en pied de tas.

L'arsenic semble être associé à des sulfures de fer et/ou des sulfates de fer (i.e. jarosite) et à des oxy(hydroxy)des de fer. Il est donc probable que la remobilisation de l'arsenic dans les matériaux de la verse annexe de Ramèle soit relativement faible.

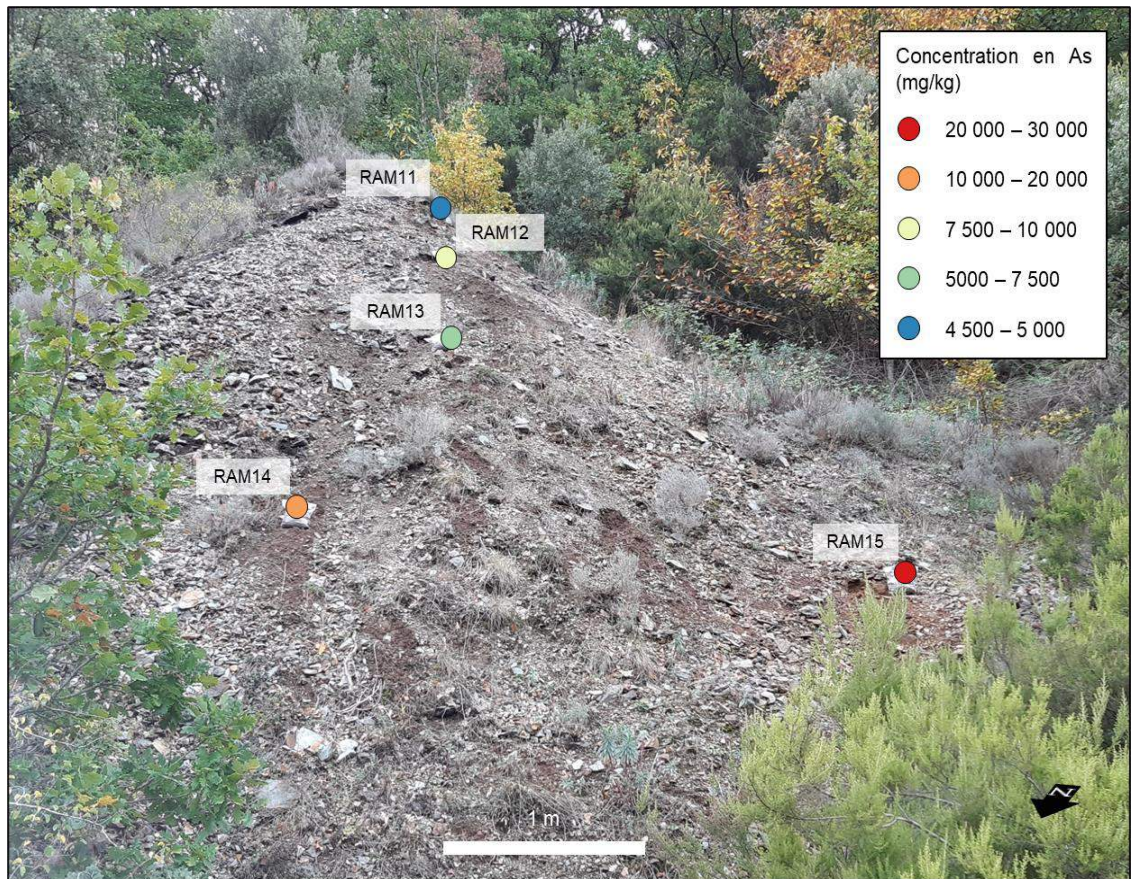


Figure 67. Cartographie des concentrations en arsenic au droit de la verse annexe de Ramèle



5 CALCULS DE FLUX ET SCHEMAS CONCEPTUELS

L'objectif principal des mesures de gestion est une suppression et/ou une réduction des flux en arsenic depuis les sources de pollutions identifiées. De ce fait, il est présenté dans ce chapitre la méthodologie d'estimation de ces flux. Les flux d'As vers le Grésillou, vecteurs principaux, sont estimés pour sa forme dissoute et/ou particulaire.

5.1 Estimation des flux d'arsenic dans le Grésillou

Les flux de transfert d'As dans le Grésillou ont été estimés à partir des données de débits et de concentrations en arsenic dans le Grésillou collectées par Minélis (depuis 2010) et ENVISOL pour plus de représentativité. Les stations suivies depuis 2010, Mine 1, 1,5, 2, ont donc été utilisées. Il est à noter que dans les données de Minélis, un seul point de mesure du débit est appliqué pour Mine 1 et 1,5.

- La station de mesure Mine 1 située en amont des versées permet de rendre compte du flux d'arsenic entrant dans le secteur d'étude ;
- La station de mesure Mine 1,5 située en aval des versées de Nartau, des bâtiments de Nartau et de la zone de résidus de four permet de rendre compte du flux apporté par tout ce secteur dit de Nartau ;
- La station de mesure Mine 2 située en aval des versées de Ramèle et de la plateforme Marty permet de rendre compte du flux apporté par tous les secteurs amonts.

D'après les données précédemment interprétées, il semble exister un flux d'arsenic depuis les secteurs étudiés vers le Grésillou à l'origine de la hausse des concentrations en arsenic mesurée dans les eaux du Grésillou au niveau de Mine 1,5 puis de Mine 2 lors des différentes campagnes d'investigations.

Ce flux d'arsenic, principalement dissous, ne rejoint l'Orbiel en aval du Grésillou que quand celui-ci présente un écoulement continu jusqu'à l'Orbiel, ce qui se produit pour une certaine intensité de débit et qui a pu être mesuré lors d'une campagne de prélèvements.

Un flux particulaire d'arsenic majoritaire est susceptible de transiter vers l'aval via les phénomènes d'érosion et de transport de sédiments lors d'événement pluvieux exceptionnels tels que la crue de 2018. Ce phénomène n'a pu être mesuré lors des différentes investigations mais il est supposé de par les observations faites sur le déplacement vers l'aval des fortes concentrations en arsenic dans les sédiments.

Il a donc été proposé d'évaluer les flux de transfert d'As dans le Grésillou en fonction des événements pluvieux selon 3 cas :

- **Flux chronique** : correspondant au fonctionnement hydrogéologique majoritairement rencontré lors de l'année. Grésillou G n'est pas en eau, donc aucun flux du Grésillou vers l'Orbiel n'est observé. Un flux dissous et particulaire des zones sources vers le Grésillou a été estimé pour le secteur où le Grésillou s'écoule (en amont des pertes).
- **Flux pluie significative** : correspondant à la mise en eau au niveau de Grésillou G et donc à l'existence d'un transfert vers l'Orbiel. Un flux dissous et particulaire des zones sources vers le Grésillou a été estimé.
- **Flux événement exceptionnel** : correspondant à des événements de crue comme observés en 2018 et 2020, impliquant un charriage de matériaux des zones sources exposées et une remobilisation des sédiments et paléo-sédiments impactés vers l'Orbiel.



Les flux ont été nommés comme suit :

- Flux 1 : flux au droit de la station mine 1, faisant référence au bruit de fond entrant dans la zone d'étude ;
- Flux 1,5 : flux au droit de la station mine 1,5, intégrant la contribution des zones sources verses de Nartau, bâtiments de Nartau, zone de résidus de four et paléo-sédiments ;
- Flux 2 : flux au droit de la station mine 2, intégrant la contribution des zones sources Ramèle et plateforme de Marty ;
- Flux Orbiel : flux au droit de Grésillou F juste en amont de l'Orbiel et avant la résurgence observée en Grésillou G qui peut apporter des eaux de la mine, représentatif du transfert du Grésillou vers l'Orbiel.
- Flux Grésillou G : flux au droit de Grésillou G (après la résurgence), intégrant le flux provenant de la zone d'étude et potentiellement un flux provenant de la mine via la résurgence.

5.1.1 Flux chronique d'As

La quantification du flux dissous et particulaire d'As des zones sources primaires vers le Grésillou est basée sur de nombreuses hypothèses fortes et simplificatrices :

- D'après les chroniques de suivi, il est observé un écoulement au droit du point Grésillou G lorsque le débit déterminé à mine 1 est supérieur à $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$. De ce fait, les situations prises en compte pour l'estimation du flux chronique sont celles correspondant à un débit inférieur à $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$ en mine 1. L'objectif est de conserver les données représentatives des flux chroniques, sans mise en eau de Grésillou G ;
- D'après le suivi réalisé sur la station Mine 2, celle-ci a été en eau en moyenne 210 jours par an. Le flux chronique serait donc existant uniquement lors des jours en eau. Le flux calculé en g/j a donc été multiplié par 210 jours ;
- Les flux ont été calculés par soustraction du flux amont (mine 1) pour le flux 1,5 et (mine 1,5) pour le flux 2 afin d'évaluer l'apport de chaque zone ;
- Pour chaque date de suivi sélectionnée, le débit mesuré a été multiplié par la concentration en As total ou dissous pour calculer le flux en As total et dissous, respectivement. Pour les concentrations inférieures à la limite de quantification, une valeur de LQ divisée par deux a été adoptée. Le flux particulaire est calculé en soustrayant le flux d'As dissous au total ;
- Une moyenne a été calculée et convertie en kg/an pour approcher un flux annuel ;
- Les valeurs de flux aberrantes (négatives, égales à 0) ont été écartées dans une approche conservative du calcul des flux.

Les flux calculés sont présentés dans la Figure 68. En situation chronique, le flux 1,5 du secteur de Nartau ne représente que 6 % du flux 2 du secteur de Ramèle. La fraction particulaire est très minoritaire. Elle est toutefois plus marquée pour la zone Nartau (24% du flux total) que pour la zone Ramèle (seulement 3% du flux total). Lors des situations chroniques, il n'y a pas de flux vers l'Orbiel. Le Grésillou présente peu d'eau en général ce qui entraîne des concentrations plus élevées en As en période d'étiage, comme observé lors des campagnes de suivi (3.3.3). Ces eaux quittent le Grésillou via les pertes observées en aval de Ramèle, supposées rejoindre les eaux de la mine.



En situation chronique, les résultats d'analyses des eaux superficielles de l'Orbiel, en amont et en aval de la confluence avec le Grésillou, confirment ces hypothèses car l'As n'est pas quantifié.

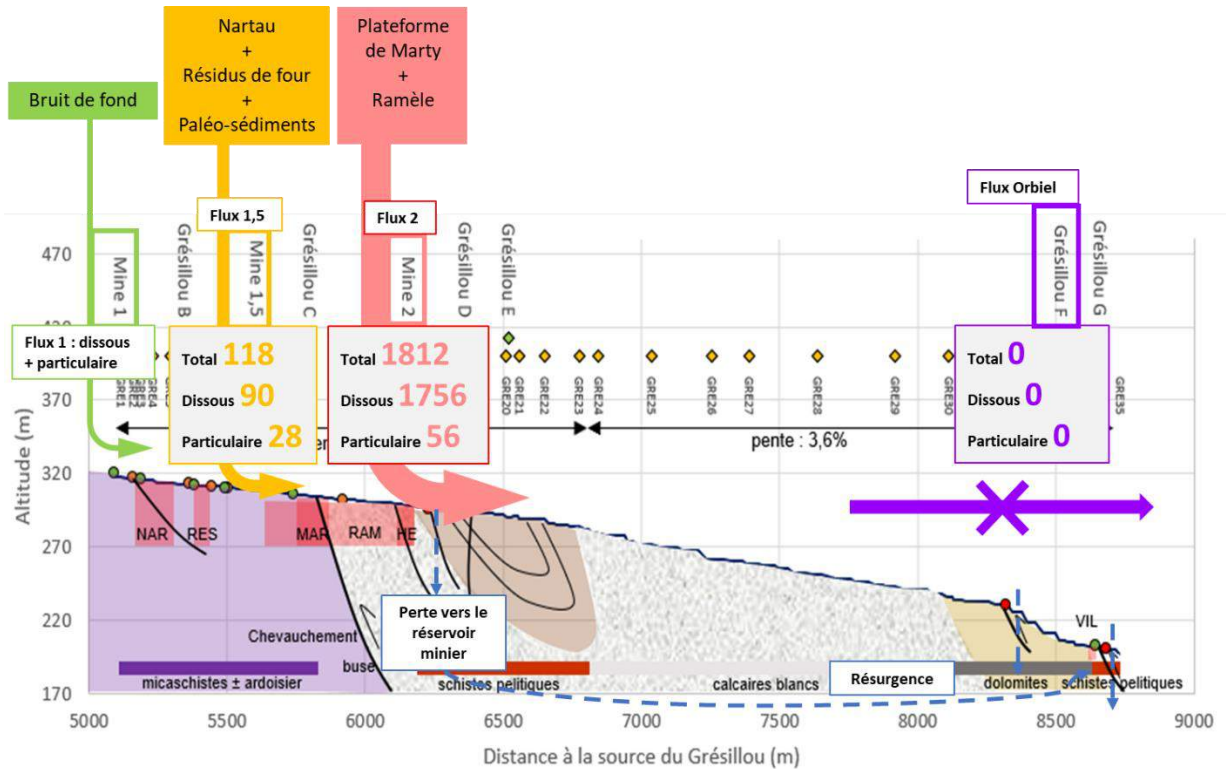


Figure 68. Quantification des flux d'As en chronique en kg/an.

5.1.2 Flux d'As pluie significative

La quantification du flux dissous et particulaire d'As des zones sources primaire vers le Grésillou est basée sur de nombreuses hypothèses fortes et simplificatrices :

- Les calculs ont été réalisés à partir du jeu de données des préleveurs automatiques pour l'évènement pluvieux du 30 janvier au 2 février 2021. On rappelle que 97 mm d'eau était tombé en 4 jours et que le débit en Mine 1 a bien été supérieur à 1,15 m³/s au cours de cet évènement ;
- D'après le suivi des pluies mensuelles de Minélias depuis 2010, une pluie significative supérieure à 97 mm par mois a été observé 22 fois en 9 ans soit entre 2 et 3 fois par an. Pour établir un flux annuel, il a été pris en compte une occurrence de 3 évènements pluvieux significatifs annuels ;
- D'après le suivi de post crue 2020, le Grésillou G a été en eau 8 jours après l'évènement pluvieux. Il a été pris en hypothèse un Grésillou G en débit pendant 10 jours lors d'un évènement pluvieux significatif, soit 30 jours par an si on considère une occurrence de 3 fois par an. Il est à noter que le nombre de jours en chronique additionné aux évènements significatifs est inférieur à 365 jours (nombre de jours de pluie).
- Pour calculer le flux Orbiel et Grésillou G, les données au droit de Grésillou F et G sont uniquement disponibles pour la date du 14 mai 2020 après la crue, seule fois où un débit du Grésillou F et G a été observé vers l'Orbiel.



- Les flux ont été calculés par soustraction du flux amont pour le flux 1,5 et flux 2 pour évaluer l'apport de chaque zone. Pour le flux Orbiel et Grésillou G, seul le bruit de fond a été retranché.
- Pour chaque date de suivi sélectionnée, le débit mesuré a été multiplié par la concentration en As total ou dissous pour calculer le flux As total et dissous, respectivement. Le flux particulaire est calculé en soustrayant le flux d'As dissous au total.

Les flux calculés sont présentés dans la Figure 69. Lors d'une pluie significative, la proportion de la contribution Nartau augmente et représente 25% du flux de Ramèle. La fraction particulaire reste minoritaire par rapport au flux dissous et plus importante pour la zone Nartau que pour la zone Ramèle (15 % et 8% du flux total, respectivement). Nartau semble plus réactif probablement dû à sa géométrie pentue favorisant le ruissellement et la mise en contact directement de l'eau de pluie avec les matériaux de surface. On peut supposer un temps de transfert des eaux plus long sur Ramèle par leur infiltration et leur circulation en sub-surface, intégrant ainsi les flux chroniques.

Lors d'une pluie significative, le flux vers l'Orbiel existe et rejoint le Grésillou. Après la zone Ramèle, la comparaison entre le flux 2 et Grésillou F et Grésillou G indique un enrichissement en As dissous, potentiellement dû au lessivage des sédiments impactés en aval de Ramèle.

Une augmentation de l'As particulaire n'a été observé qu'en Grésillou G concluant à une remobilisation des sédiments en aval d'une zone d'accumulation (GRE29).

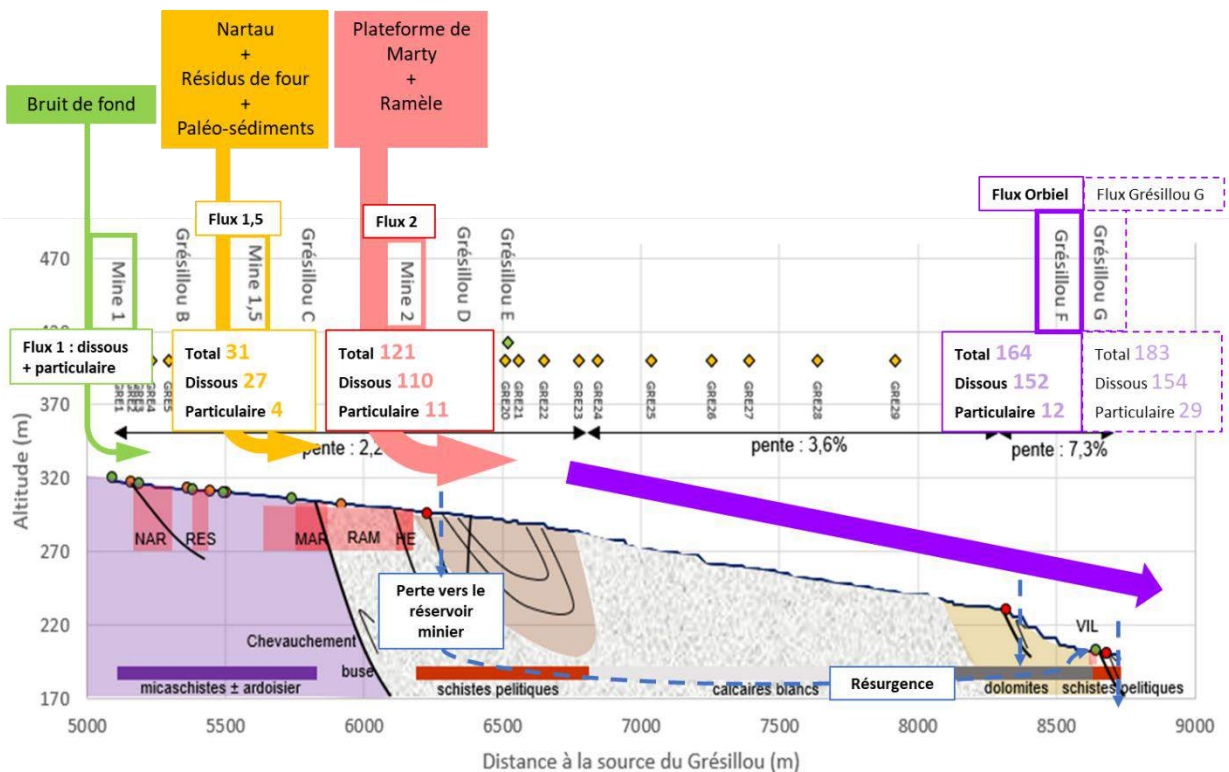


Figure 69. Quantification des flux d'As en pluies significatives en kg/an.



Afin d'évaluer l'impact de ce flux sur la qualité des eaux de l'Orbiel, la concentration théorique additionnelle apportée en arsenic dans l'Orbiel via ce flux a été approchée en se basant sur les hypothèses suivantes :

- A partir du suivi des pluies mensuelles de Minélias depuis 2010, les débits de l'Orbiel, au droit de la station Lastours 0 (en amont de la confluence avec Grésillou), ont été récupérés lors des mois où la pluie significative a été supérieure à 97 mm. En moyenne, le débit a été de 6,25 m³/s ;
- Sur la base des données du 14 mai 2020 après la crue, le flux d'As total en sortie de Grésillou G a été mesuré à 0,07 g/s ;
- La concentration additionnelle en arsenic a été obtenue en multipliant le débit de l'Orbiel par le flux sortant de la vallée du Grésillou, en Grésillou G.

Ainsi, ayant posé ces hypothèses, lors d'un événement pluvieux significatif, le flux d'As total provenant de la vallée du Grésillou entrainerait **une augmentation de concentration dans les eaux de l'Orbiel de l'ordre de grandeur de 11 µg/l en As total**. On rappelle que ce flux serait présent uniquement lors d'événements pluvieux significatifs estimés à 30 jours par an. Ce calcul théorique permet de mettre en perspective un impact par de l'As total issu de la vallée du Grésillou à la fois limité dans le temps mais également dans l'intensité, la concentration additionnelle associée attendue étant de l'ordre du seuil de potabilité.

5.1.3 Flux d'As événement exceptionnel

Par rapport à un flux de pluie significative, il est fait comme hypothèse que le flux particulaire représentera la part la plus importante d'augmentation par le charriage des zones exposées à l'événement. En effet, il n'y a pas de raison particulière pour que le flux dissous augmente davantage lors de ce type d'événement par rapport à un événement pluvieux significatif. L'analyse s'est donc focalisée sur une appréciation qualitative du flux particulaire réalisée en fonction des secteurs d'étude (Tableau 14).

Deux critères ont été pris en compte :

- Le risque d'être exposé à une crue et donc de subir du charriage,
- Les concentrations et la mobilité des phases arséniées sur les zones exposées.



Tableau 11. Evaluation qualitative du flux particulaire des zones sources primaires et secondaires

Evènements aigus	Verses de Nartau	Bâtiments de Nartau	Zone de résidus de four	Plateforme de Marty	Verse de Ramèle	Verse annexe de Ramèle	Sédiments	Paléo-sédiments
Arrachage lors d'une crue	+	-	+++	+++	+++	-	+++	+++
	Gabions de protection en pied de verse	Non accessible par le Grésillou	Masse emportée lors de précédentes crues (2018)	Masse emportée lors de précédentes crues (2018, 2020)	Pied verse érodé par le Grésillou	Non accessible par le Grésillou	Sédiments emportés par le Grésillou	Masse emportée lors de précédentes crues
Concentration en As des matériaux exposés	++	++	++	+++	++	++	+	+
	Maximum en pied de verse 36 256 mg/kg	Maximum 28 828 mg/kg	Maximum 14 000 mg/kg	Maximum au niveau de la zone mise à nue par la crue 2020 72 000 mg/kg	Maximum en pied de verse 18 000 mg/kg	Maximum en pied de verse 27 000 mg/kg	Moyenne de 9 500 mg/kg pour le Grésillou	Maximum de 2 861 mg/kg
Scoring	3	2	5	6	5	2	4	4

Ce tableau met en évidence une appréciation du flux particulaire plus élevée pour la verse de Ramèle, la plateforme de Marty et la zone de résidus de four dans les conditions actuelles. Ces zones présentent des zones de fortes concentrations en As, sensibles à l'arrachage lors de crue. Il est à noter ensuite la contribution des sédiments et paléo-sédiments en cohérence avec les suivis des concentrations dans sédiments le long du Grésillou qui ont montré une remobilisation des sédiments impactés vers l'aval de Ramèle probablement après la crue de 2018.

Malgré sa forte pente, la verse de Nartau présente une surface relativement stable à l'érosion grâce à la présence de ferricrête et ses pieds protégés par des Gabions dans les conditions actuelles. Les flux appréciés sont présentés dans la Figure 72.

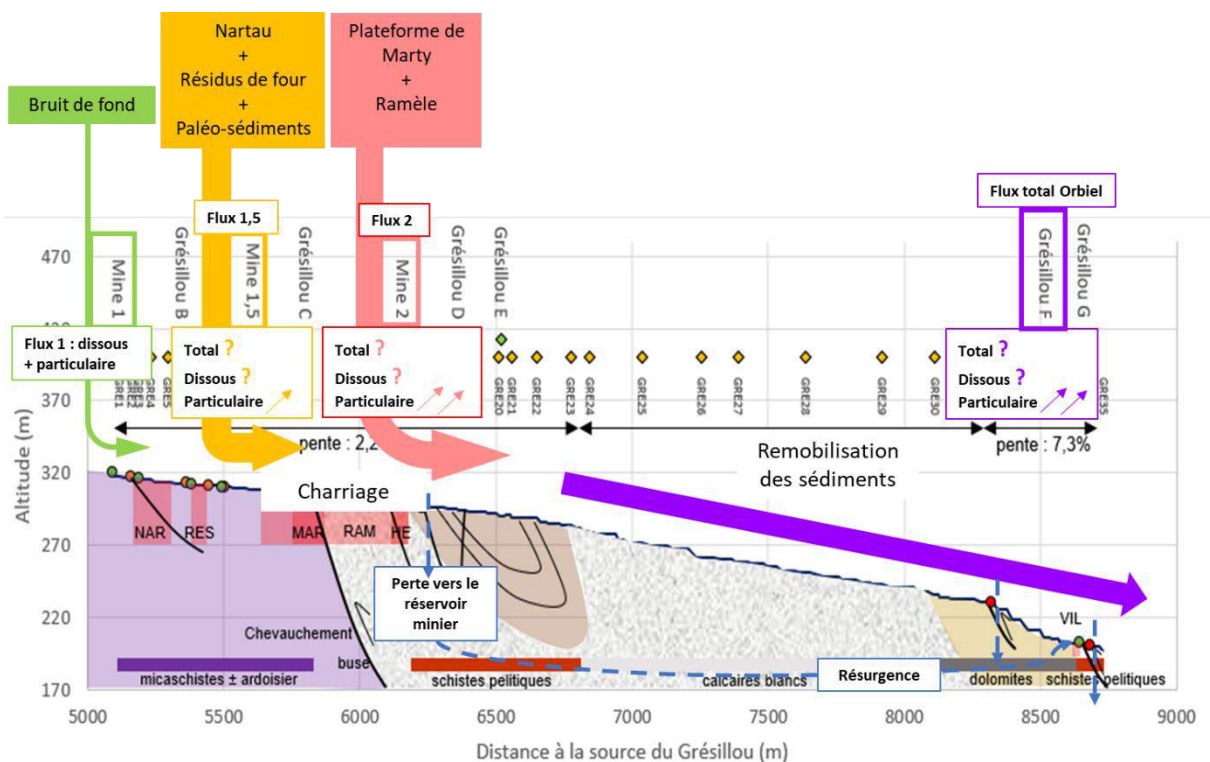


Figure 70. Qualification des flux d'As en évènement exceptionnel.

5.2 Répartition des flux par secteur d'étude

Afin de hiérarchiser les apports par secteur d'étude, un potentiel de relargage de l'As dissous potentiellement lixiviable a été calculé pour chaque secteur impacté en prenant en compte leur surface et les essais de lixiviation. Ce potentiel est basé sur de nombreuses hypothèses fortes et simplificatrices (Figure 71) :

- le potentiel de relargage est obtenu en multipliant la concentration en As en mg/kg sur éluât par une surface concernée,
- les essais de lixiviation L/S=10 ont été convertis en L/S=100 en divisant par 10 les concentrations en mg/l obtenues sur éluat. Cette hypothèse considère que la lixiviation des éléments est contrôlée par leur masse disponible plutôt que leur solubilité ce qui a été observé pour certains échantillons. Cette étape a été réalisée pour homogénéiser le jeu de données.
- pour chaque zone source, plusieurs essais de lixiviation ont été réalisés. Soit un seul résultat de lixiviation a été appliqué à une surface considérée homogène (observation macroscopiques et/ou géochimiques communes) soit plusieurs résultats ont été moyennés pour être appliqués à une surface homogène. La Figure 74 représente les zones homogènes prises en compte.
- pour une zone source, il existe plusieurs surfaces homogènes avec des potentiels relargages différents, elles ont été sommées pour fournir un potentiel de relargage par zone source,
- le calcul n'a pu être réalisé que pour les zones sources où des essais de lixiviation ont été réalisés.

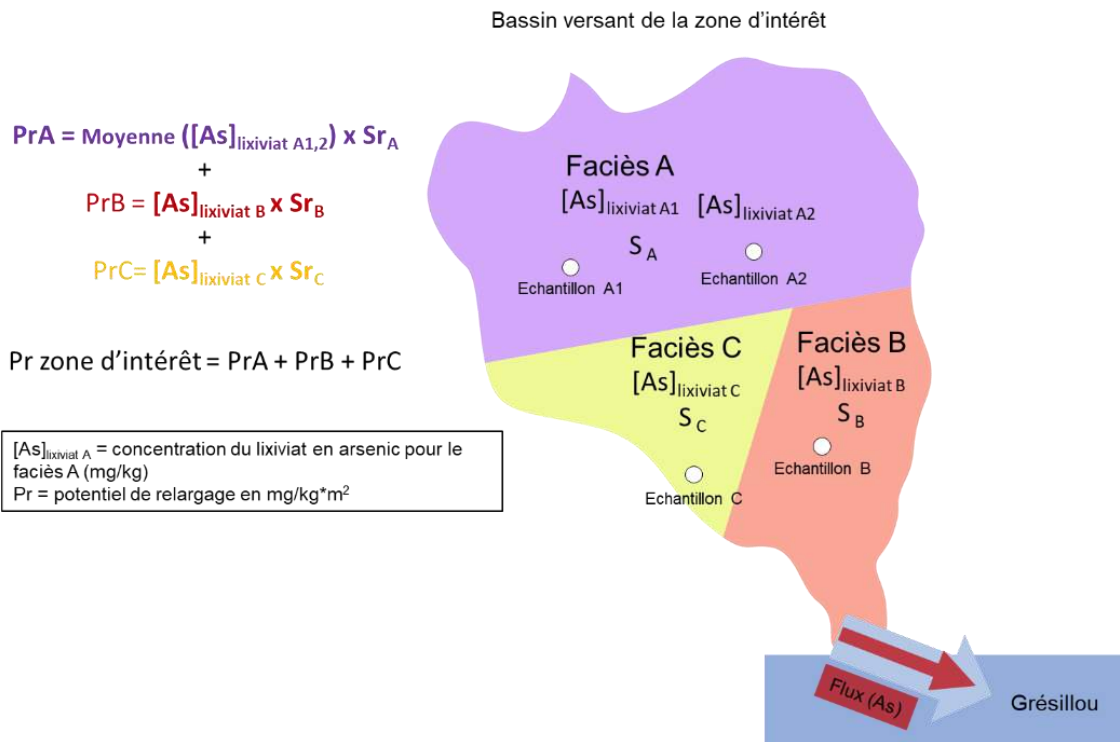


Figure 71. Schéma explicatif de l'estimation du potentiel de relargage des zones sources



- Légende :**
- ▭ Délimitation surfacique
 - ▭ Zone source primaire
- Arsenic (pXRF, mg/kg)**
- 2000 - 9000
 - 9000 - 15000
 - 15000 - 17000
 - 17000 - 20000
 - 20000 - 25000
 - 25000 - 30000
 - 30000 - 50000
 - 50000 - 80000
 - 80000 - 180000
 - 180000 - 250000
- Ferricrète



Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Délimitation de faces

Dernière modification : 23/11/21
 Version : a



- Légende :**
- Délimitation surfacique
 - Zone source primaire
- Verse Ramèle**
- Arsenic (pXRF)**
- 716 - 1500
 - 1500 - 3000
 - 3000 - 5000
 - 5000 - 7500
 - 7500 - 10000
 - 10000 - 20000
 - 20000 - 40000
 - 150000 - 218034
 - impact ICF 2007
- Plateforme Marty**
- Plateforme Marty ancienne étude (Minéris)
- Arsenic (pXRF)**
- 23 - 30
 - 30 - 40
 - 40 - 100
 - 100 - 500
 - 500 - 1000
 - 1000 - 3000
 - 3000 - 6000
 - 6000 - 15000
 - 15000 - 40000
 - 40000 - 72555



Client : BRGM
Site : Mine de Nartau et Verse de Ramèle (Secteur de Salsigne)
Titre : Délimitation de faciès

Dernière modification : 23/11/21

Version : a

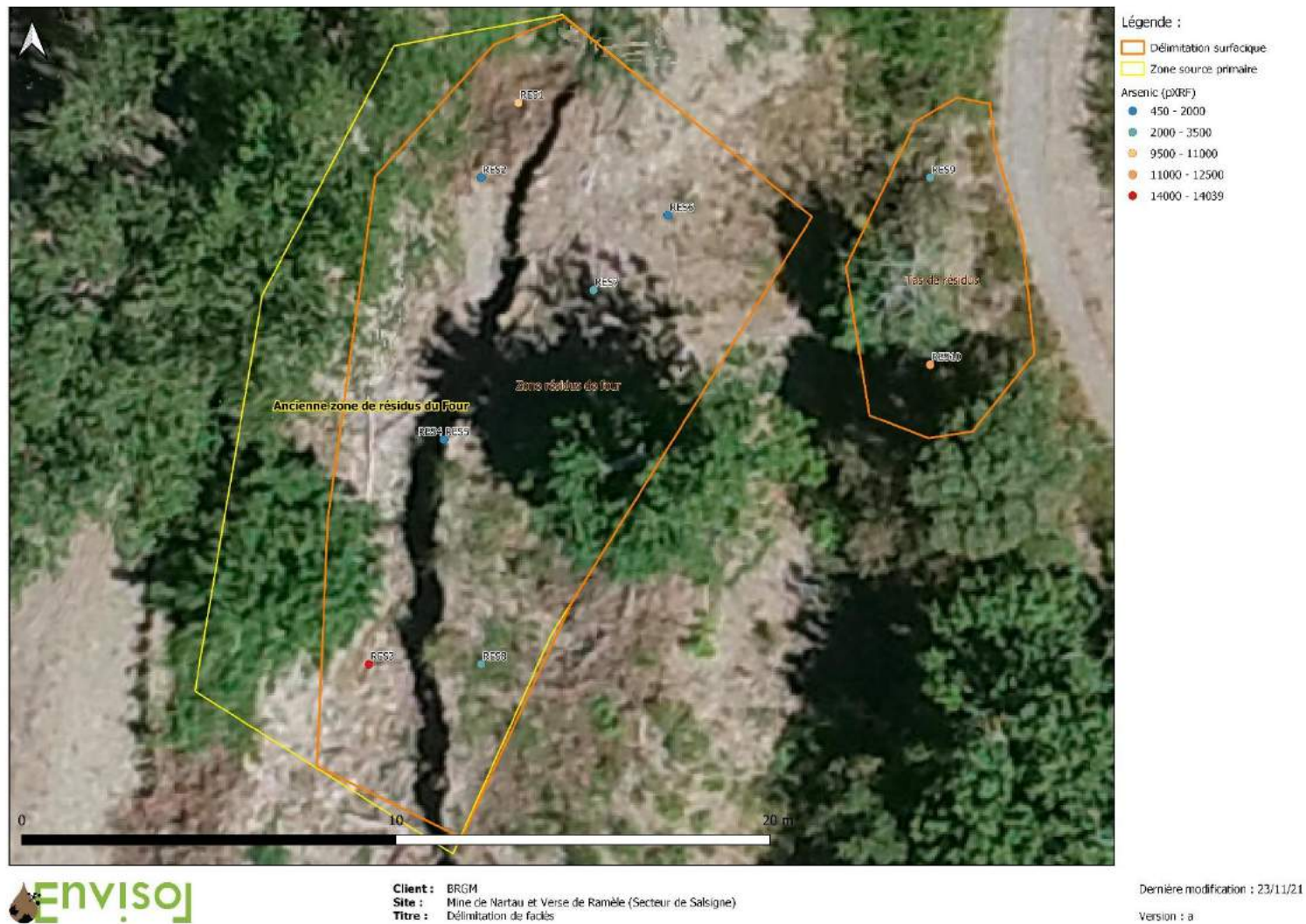


Figure 72. Surfaces considérées comme homogènes pour le calcul du potentiel de relargage



Le tableau 12 ci-dessous présente les résultats. Par ordre décroissant, l'estimatif du potentiel de relargage par lixiviation classe les zones sources comme suit : verse de Ramèle, verse de Nartau, plateforme de Marty et zone de résidus de four.

Au droit de Ramèle, on note que la zone d'impact cheminée, impactée par de l'anhydride arsénieux, montre la concentration sur éluât la plus élevée (même si la surface est minime) et donc un potentiel de relargage élevé. La quantité d'anhydride arsénieux est importante dans le calcul de flux mais reste incertaine à ce stade. Une augmentation de la zone d'anhydride arsénieux de 1 m² à 5 m² augmenterait le flux d'un facteur 1,7.

Ces comparaisons qualitatives du flux d'As dissous entre les zones sources primaires sont en cohérence avec les investigations terrain (suivi des eaux du Grésillou, suivi des eaux lors d'événement pluvieux significatifs) qui montrent les augmentations de concentration en As les plus importantes entre les stations Mine 1,5 et 2 et donc potentiellement une contribution importante des zones secteurs d'études suivant : plateforme Marty et verse Ramèle, au flux d'arsenic dans le Grésillou.

La proportion de chaque potentiel de relargage a été calculée en prenant en compte la zone entière contribuant aux flux de Mine 1,5 et Mine 2. Nartau semble contribuer à 98,8 % au flux dissous de Mine 1,5 et Ramèle à 99 % au flux dissous de Mine 2. Ces calculs de proportion se basent sur une hypothèse forte qui est que les zones caractérisées en surface constituent entièrement le flux de Mine 1,5 et Mine 2. Dans le cas de la verse de Ramèle, cette hypothèse place la contribution de l'impact cheminée à 64% du flux de Mine 2. Ce flux est très probablement majoré vis-à-vis des incertitudes restantes sur la caractérisation globale de Ramèle et les potentiels impacts qui peuvent exister en profondeur.

Il est à noter que la contribution de la verse secondaire (6%) reste relativement faible par rapport à la verse principale.



Tableau 12. Calcul du potentiel de relargage (mg/kg*m²) par zone source.

Sources primaires	Zones ciblées	Echantillons	[As] éluat (mg/kg ; L/S=10)*	[As] éluat (mg/kg ; L/S=10) par zone homogène	Surface (m ²)	Potentiel de relargage mg/kg x m ²	Potentiel de relargage mg/kg x m ² par zone source primaire	% Total par zone mine 1,5 mine 2	% Total flux vallée
Nartau	Verses secondaires	NAR21-22-24-25	4	4	96	384,0	2003,5	5,9%	1,2%
Nartau		NAR36	19	19	81	1539,0			
Nartau		NAR34	0,7	0,7	115	80,5			
Nartau	Verse principale	NAR11-12-14-15	14	9,93	3201	31796,6	31796,6	92,9%	19,0%
Nartau		NAR16-17-20	10						
Nartau		NAR1-2-3-7-8	5,8						
Nartau		NAR26-29	64	41,5	1838	76277,0			
Nartau		NAR27-30	19						
Zone de résidus de four	Zone de résidus de four	RES 3	9,4	9,4	33	310,2	408,4	1,2%	0,2%
Zone de résidus de four		RES1-4-6-8	0,61	0,61	161	98,2			

Sources primaires	Zones ciblées	Echantillons	[As] éluat (mg/kg ; L/S=10)*	[As] éluat (mg/kg ; L/S=10) par zone homogène	Surface (m ²)	Potentiel de relargage mg/kg x m ²	Potentiel de relargage mg/kg x m ² par zone source primaire	% Total par zone mine 1,5 mine 2	% Total flux vallée
Marty	Résidus sous couverture	PFM1	0,6	0,6	8	4,8	6709,1	0,2%	0,1%
Marty		PFM2	48	48	6	288,0			
Marty		MAR12	4,6	2,95	2175	6416,3			
Marty		MAR13	1,3						
Marty	Résidus surface (tas + muret)	MAR2-3	9,9	5,55	17	94,4	2191,1	0,1%	0,0%
Marty		MAR4-5	1,2						
Marty		MAR6-7-8-9-10-11-28	1,4	4,35	482	2096,7			
Marty		MAR6-7-8-9-10-11-28	7,3						
Ramèle	Impact cheminée	MAR14-15-18-19-20-21-22-24-25-26-27	2070000	2070000	1	2070000,0	2322280,0	64,4%	51,3%
		RAM4-5	140	140	1802	252280,0			
Ramèle	Pied de verse	PAL5	354	1482	611	905502,0	905502,0	25,1%	20,0%
		PAL3-4	2610						
Ramèle	Impact corps de verse	RAM6-7-10	0,14	0,14	4701	658,1	658,1	0,02%	0,0%
Ramèle	Reste de la verse	RA16-18-19	1,7	1,7	215 237	365902,9			



5.3 Flux de poussière : étude Evadiès et INERIS

Après l'étude, dans les chapitres précédents, des flux d'arsenic transférés par les eaux sous forme particulaire et dissoute, ce chapitre évalue les flux d'arsenic potentiellement transférés par les vents via l'analyse des données de l'étude menée par Evadiès. Dans le cadre d'une démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux, l'INERIS a repris ces données afin d'évaluer les risques sanitaires via l'inhalation de poussières. Il est à noter que seules les conclusions de cette évaluation sont disponibles à ce stade.

En 2020 et 2021, la société EVADIES a réalisé :

- le suivi des poussières sédimentables totales (mesures des retombées atmosphériques). Les données obtenues ont permis d'évaluer les flux de transfert via l'envol de poussière à proximité directe des sources potentielles émettrices de poussières de l'ancien district minier et industriel de Salsigne. Seules les données concernant notre secteur d'étude seront résumées ici ;
- des mesures de poussières dans l'air ambiant sur différentes communes de la vallée de l'Orbiel. Les données obtenues ont permis d'actualiser l'évaluation des risques sanitaires liés à l'inhalation des particules métalliques par l'INERIS.

5.3.1 Mesures des retombées atmosphériques

La quantification des dépôts atmosphériques a été réalisée sur les différentes sources potentielles d'émissions de poussières (Figure 75) : les anciens sites miniers et industriels de Villardonnell, Malabau, Nartau, La Caunette, Mine à Ciel Ouvert de Salsigne, site industriel de la Combe du Saut (y compris site de Montredon et de l'Artus).

4 points de prélèvement ont été placés sur le secteur l'étude : NAR-04 (en ligne de crête de la verse de Nartau), NAR-03 (en pied de verse de Ramèle, en fond de vallée du Grésillou), NAR-02 (zone des bâtiments de Nartau, NAR-01 (sur la verse de Nartau).

Deux campagnes ont été menées, à l'aide de collecteurs de précipitation selon la norme NFX 43-014, en été puis en hiver 2020 sur des périodes de 27 et 29 jours. La mesure de poussières sédimentables et l'analyse des métaux (dont l'As) ont alors été réalisées.

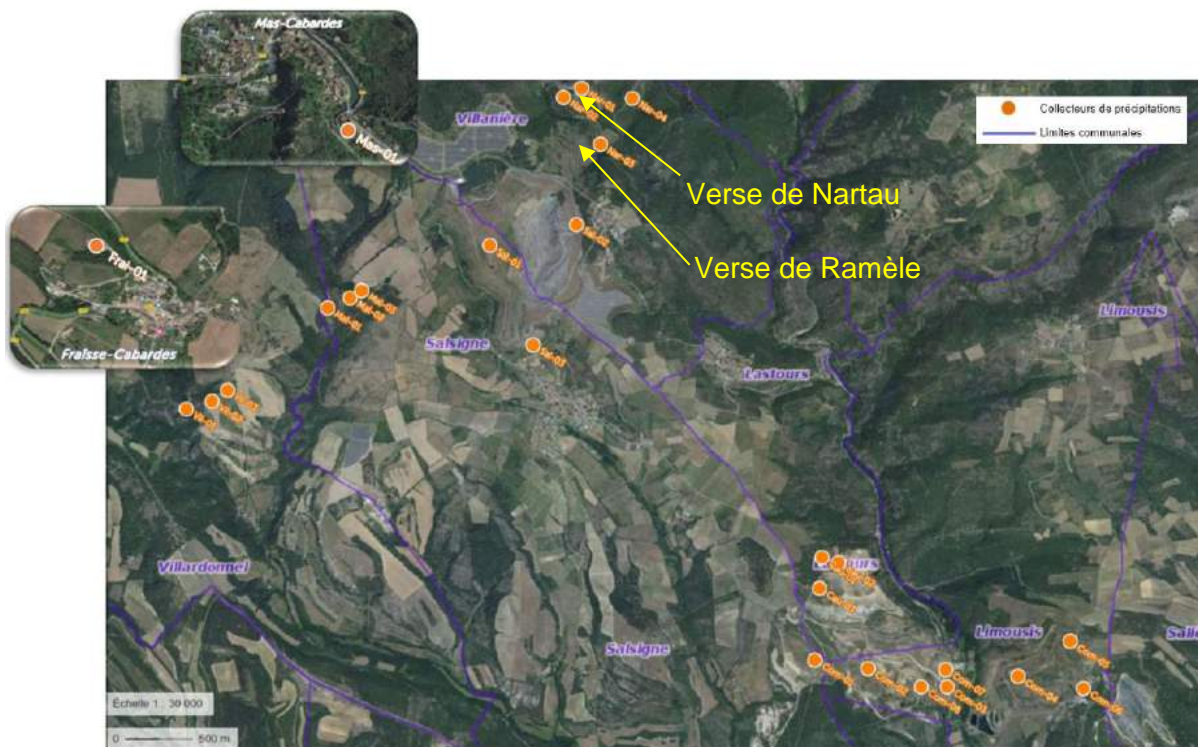


Figure 73. Localisation des sites de mesure de la qualité de l'air par EVADIES (source : Rapport 7020 v3.0 EVADIES)

En hiver et en été, ce sont les points situés à proximité immédiate de la verse de Nartau : Nar-02 (23 -29,5 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$) et au droit de la verse de Nartau : Nar-01 (231,1 – 213,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$) qui ont révélé les teneurs en As les plus élevées et supérieures à la valeur indicatrice (réglementation Allemande et Suisse) de 4 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$. Les teneurs décroissent rapidement puisqu'à quelques centaines de mètres les points Nar-03 (2,4 – 4,6 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$) et Nar-04 (0,4 – 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$) présentent des teneurs en-dessous ou proche de la valeur indicatrice. Ainsi, au regard d'un empoussièrément équivalent sur les quatre stations autour de Nartau (compris entre 50 et 22 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$), c'est la diminution de la charge en arsenic qui explique des dépôts d'arsenic très localisés et circonscrits à quelques centaines de mètres autour de la verse.

Le suivi des retombées atmosphériques montre donc que le transfert d'As via l'envol de poussière existe au droit de la verse de Nartau, de manière très localisée c'est à dire à moins de quelques centaines de mètres de la verse. Ces poussières peuvent ponctuellement être en contact avec les cibles recensées ponctuellement sur le site (voir chapitre 3.4). Néanmoins, les poussières ne sont donc pas transportées hors du bassin versant du Grésillou vers les cibles hors du secteur d'étude. Certaines poussières peuvent être lessivées par les pluies et rejoindre le Grésillou expliquant la présence d'un flux particulaire dans le Grésillou.

5.3.2 Mesures de poussières dans l'air ambiant

La quantification des poussières dans l'air ambiant a été réalisée au droit de 16 stations (dont 8 déjà étudié par l'INERIS en 2006) (Figure 76). La station 15 « Le Cammazou » est la plus proche de Nartau située à environ 500 m de la verse Nartau, sous vents SO et NE.



Trois campagnes ont été menées en été, en automne et en hiver 2020, basées sur des prélèvements de PM10 (poussières fines de diamètre inférieur à 10 µm de l'anglais Particule Matter) par préleveurs séquentiels (fréquence hebdomadaire), des prélèvements de TSP (Particules Totales en Suspension), PM10 et PM2.5 par micro-préleveurs (fréquence bimensuelle) sur Lastours, Villanière, Cammazou uniquement et un suivi en continu des concentrations en PM10 dans l'air ambiant par micro-capteurs lors de la première campagne estivale uniquement, sur Ilhes-Cabardès, Villanière et Limousis. La mesure des TSP, des poussières fines PM10, des poussières fines PM2.5 (particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm) et l'analyse des métaux (dont l'As) ont été réalisées.

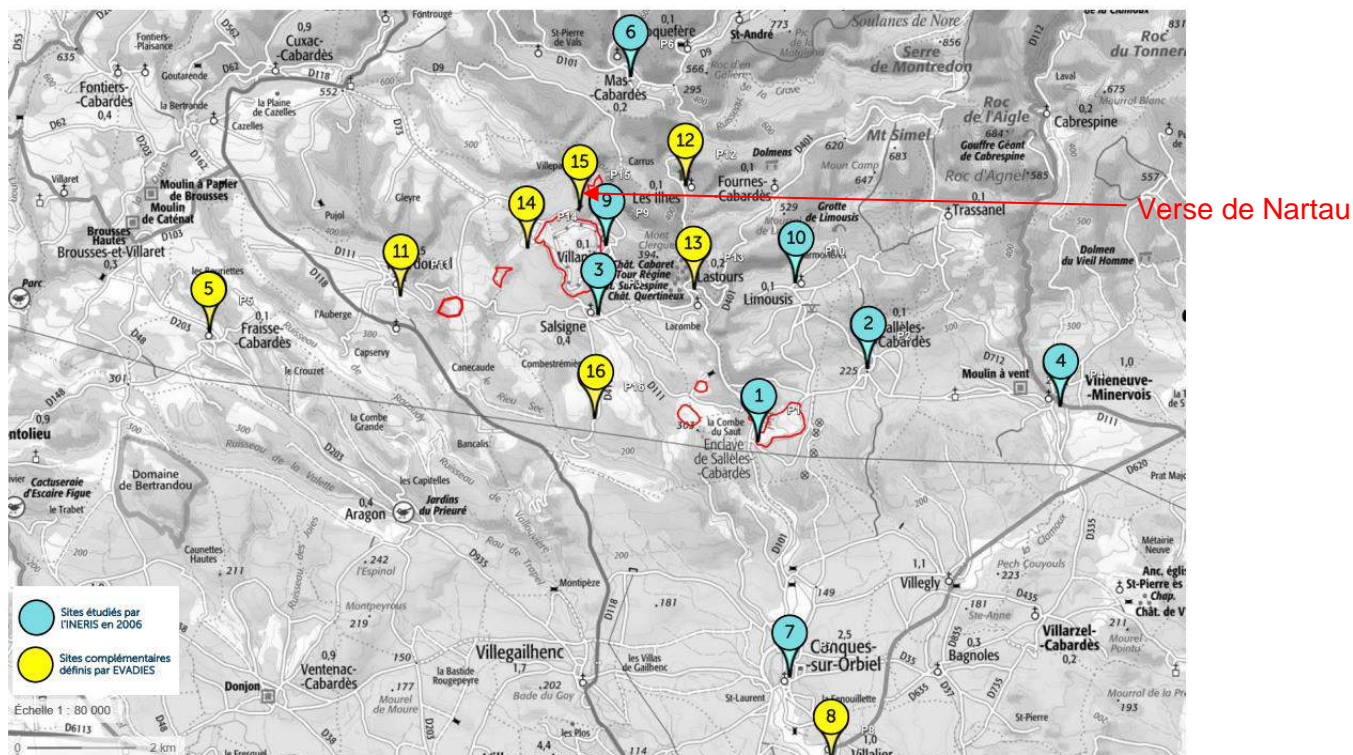


Figure 74. Localisation des sites de mesure de la qualité de l'air par EVADIES (source : Rapport 0321 EVADIES)

Les trois types de prélèvement mettent en évidence un faible taux d'empoussièrement de la zone de d'étude. Les concentrations en PM10 peuvent être considérées comme faibles eu égard aux critères nationaux de la qualité de l'air qui définissent un objectif de qualité fixé à 30 µg/m³ en moyenne annuelle (moyenne de 8 µg/m³ pour Cammazou, la plus proche de Nartau). Les concentrations en PM2.5 sont également inférieures à l'objectif de qualité fixé 10 µg/m³ en moyenne annuelle (moyenne de 6 µg/m³ pour Cammazou, la plus proche de Nartau).

Les concentrations moyennes en As dans les PM10 sur les différentes stations varient de 0,19 ng/m³ à 1,01 ng/m³ (0,26 ng/m³ pour Cammazou, la plus proche de Nartau), en dessous de la valeur réglementaire dans l'air ambiant (6 ng/m³ valeurs cibles en moyenne). Les concentrations en As observées dans les TSP, PM10 et PM2.5 sont du même ordre de grandeur.

Les mesures journalières confirment les résultats et montrent des concentrations en PM10 inférieures aux critères nationaux de la qualité de l'air et ne traduisent pas d'anomalie sur les trois stations de mesures instrumentées dont la plus proche de Nartau, la station Villanière, positionnée à environ 1,5 km au SE sous les vents dominants Ouest.



5.3.3 *Etude de risque INERIS (En cours de finalisation)*

Sur la base des mesures réalisées par EVADIES, précédemment décrites, l'INERIS a réalisé une actualisation de l'évaluation des risques sanitaires liés à l'inhalation des poussières dans la vallée de l'Orbiel.

Ces résultats confirment l'occurrence de risques sanitaires acceptables pour les adultes et les enfants résidents, concernés par une exposition par inhalation de poussières. L'interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) réalisée par l'INERIS montre par ailleurs que la qualité de l'air de la vallée est conforme à la réglementation concernant les métaux analysés et est compatible avec les usages d'habitation pour l'ensemble des résidents concernés.

5.4 **Elaboration du schéma conceptuel (situation actuelle)**

Le schéma conceptuel d'un site consiste à établir, sur la base des données existantes, un bilan factuel de l'état environnemental des milieux. D'après la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, il doit permettre d'appréhender les relations entre :

- les **sources de pollution** contenant des substances susceptibles de générer un impact ;
- les **différents milieux de transfert (vecteurs)** des substances vers un point d'exposition et leurs caractéristiques ;
- les **cibles** situées au point d'exposition.

La notion de source/vecteur/cibles dans le cadre de la présente étude ne concerne strictement que l'emprise de la vallée du Grésillou. En effet, les voies de transfert et cibles potentielles comprises dans le secteur aval de la vallée de l'Orbiel sont prises en charge dans le cadre d'autres actions menées par ailleurs notamment dans le cadre du plan d'action de la Préfecture et de la surveillance environnementale du secteur et n'est pas inclus dans le périmètre de la présente étude. Il en est de même pour les eaux souterraines du réseau minier dont le suivi est traité indépendamment.

Les sources de pollution, milieux de transfert et cibles sont présentés pour l'usage actuel dans les paragraphes ci-dessous.

5.4.1 *Paramètres du schéma conceptuel*

5.4.1.1 *Sources*

Les sources de pollution potentielles caractérisées lors des investigations, sont présentées dans le tableau en pages suivantes.



Tableau 13. Listing des 7 zones sources potentielles

Secteurs de Nartau	Caractéristiques principales
Verse principale et verses secondaires de Nartau	<p>Concentration maximale en As de 301 g/kg</p> <p>Volume important estimé à 11 900 m³</p> <p>Solubilité As limitée</p> <p>Verse globalement stable avec ravinements qui ont déjà emporté quelques dizaines de tonnes</p> <p>Contribution au flux vers l'Orbiel de 20% à l'échelle de la vallée en période de pluie significative</p>
Bâtiments de Nartau	<p>Concentrations maximales en As de 25 g/kg</p> <p>Présence de zone d'écoulements préférentiels au niveau de la piste d'accès menant aux verses de Nartau</p> <p>Contribution au flux vers l'Orbiel non estimée, jugée non significative</p>
Zone de résidus de four	<p>Concentration maximale en As de 14 g/kg</p> <p>Volume restant en zone inondable de 300 m³</p> <p>Solubilité As limitée</p> <p>Zone située dans le lit mineur du Grésillou, impactée durant la crue d'octobre 2018</p> <p>Contribution au flux vers l'Orbiel de 0,2% à l'échelle de la vallée en période de pluie significative</p>
Plateforme Marty	<p>Concentration maximale en As de 72 g/kg</p> <p>Volume estimé (selon hypothèse) à 4000 m³</p> <p>Solubilité As limitée</p> <p>Plateforme située en bordure de Grésillou, impactée durant la crue d'octobre 2018</p> <p>Contribution au flux vers l'Orbiel de 0,1% à l'échelle de la vallée en période de pluie significative</p>



Secteur de Ramèle	
Verse de Ramèle	Concentration maximale en As de 472 g/kg (la plus élevée de la vallée) Volume de l'ensemble de la verse estimé à 5 320 000 m ³ Présence d'As fortement mobilisable Verse globalement stable dont la répartition des matériaux pollués semble être hétérogène Présence de circulations des eaux de ruissellement, d'eaux de sub-surface et souterraines vers le Grésillou Contribution au flux vers l'Orbiel de 80% à l'échelle de la vallée en pluie significative
Verse annexe de Ramèle	Concentration maximale en As de 27 g/kg Volume estimé à 150 m ³ Contribution au flux vers l'Orbiel non estimée, jugée non significative
Secteur de la vallée du Grésillou	
Sédiments et paléo-sédiments du Grésillou	Concentration maximale de 3 g/kg Masse remobilisable non estimée et en constante évolution selon les évènements de crue du cours d'eau Contribution au flux vers l'Orbiel supposée lors des évènements exceptionnels (crues)

5.4.1.2 Voies de transfert

Les voies de transfert (matérialisées par des flèches dans le schéma conceptuel) représentent les voies de migration des substances dans les différents milieux considérés (transfert potentiel par envol de poussières, transfert via un dégazage des sols et/ou des eaux souterraines...).

A ce stade de l'étude, les voies de transfert retenues sont :

- Transfert de composés via les eaux de ruissellement et/ou d'infiltration vers les eaux de surface du ruisseau du Grésillou ;

Les études de caractérisation des sources ont mis en évidence l'existence de transferts d'arsenic vers les eaux du Grésillou puis jusqu'à l'aval du secteur d'étude (Orbiel) notamment par l'estimation des flux d'arsenic. Il a ainsi été estimé un flux d'arsenic des sources vers le Grésillou existant sur une majorité de l'année, environ 240 jours, dont une période d'écoulement du Grésillou jusque l'Orbiel de 30 jours, et qui est sec le reste de l'année.

Le flux est principalement dissous pendant les périodes d'écoulement chroniques (absence de pluie et pluies faibles) et pendant les périodes d'écoulement lors de pluies significatives (pluies ≥ 100 mm en 3 à 4 jours). Des phénomènes d'écoulements de sub-surface au sein des verses, à l'origine de suintements vers le Grésillou, expliquent probablement une partie de ce flux dissous régulier. Ce flux est largement porté par Ramèle qui représente 80% du flux d'As vers l'aval du secteur d'étude, suivi par Nartau représentant 20%.



Lors d'évènements climatiques exceptionnels de type crue, des flux particulaires supérieurs à ceux de la situation chronique ont été supposés, par l'observation de zones charriées lors des crues de 2018 et 2020 et au travers de la présence de sédiments impactés dans le lit du Grésillou qui ont été identifiés jusqu'à l'aval du secteur d'étude au niveau de la confluence avec l'Orbiel attestant ainsi d'un transit vers l'aval d'un flux particulaire significatif. Le pied de verse de Ramèle, la zone de résidus de four et la plateforme Marty sont les zones les plus exposées au charriage.

- Transfert de composés via l'envol de poussières issues de surfaces non recouvertes (Verse de Nartau).

Cette voie de transfert potentielle apparait toutefois mineure compte tenu des résultats obtenus dans le cadre de l'étude poussières. Un envol de poussières existe au droit de la verse de Nartau, mais de manière très localisée, c'est à dire à moins de quelques centaines de mètres de la verse. Ces poussières peuvent être en contact avec les cibles recensées ponctuellement sur le site.

- Transfert de composés vers le gibier.

Cette voie de transfert potentielle théorique existe du fait de l'accès aux sources par le gibier.

Les voies de transfert non retenus sont :

- « Transfert de composés présents dans les sols vers les végétaux cultivés pour l'alimentation humaine » en raison de l'absence de jardins potagers et de surfaces agricoles cultivées au niveau de la vallée de Grésillou.
- « Transfert potentiel de composés des sols vers les eaux souterraines » : Le transfert des composés des sols vers les eaux souterraines est possible soit par infiltration notamment au niveau de la verse de Ramèle soit via les pertes du Grésillou. Toutefois, les écoulements de sub-surface peuvent rejoindre le Grésillou et sont ainsi considérés dans les transferts depuis la verse de Ramèle vers le Grésillou. Ils peuvent également rejoindre le réservoir de la mine et la problématique des flux souterrains se confond alors avec celle du secteur de la mine n'appartenant plus au bassin versant du Grésillou, objet de la présente étude ;
- « Transfert via le dégazage de composés volatils depuis les sols et/ou les eaux souterraines » en l'absence de substances volatiles.

5.4.1.3 Cibles

Les cibles potentielles (adultes et plus ponctuellement enfants) au niveau de la vallée du Grésillou (secteur d'étude) sont constituées des travailleurs ponctuels, du garde forestier et de chasseurs,

Les secteurs de Ramèle et Nartau sont interdits d'accès par panneautage. Néanmoins, des promeneurs et des pêcheurs peuvent être ponctuellement rencontrés.



5.4.1.4 Voies d'exposition retenues

Le tableau ci-dessous présente les voies d'exposition retenues ou non à ce stade des investigations. La détermination des voies d'exposition prédominantes permet d'orienter le choix de mesures de gestion dans un objectif de réduction des flux d'As vers les enjeux et de formuler des recommandations pour d'éventuelles phases ultérieures.

Voies d'exposition potentielle pour les adultes et les enfants	Commentaires	Retenue oui/non
Ingestion de sols de surface	<u>Au droit du secteur d'étude</u> : les secteurs de Ramèle et Nartau sont interdits d'accès par panneautage. Concernant les cibles autorisées (suivi des verses) les modalités de prévention (port de masque, lavage des main) permettent d'écarter cette voie d'exposition.	Non
Inhalation de poussières	Voie d'exposition très localisée : à moins de quelques centaines de mètres de la verse de Nartau et interdiction d'accès à la zone. Protection des travailleurs susceptibles d'intervenir sur place.	Non
Ingestion de gibier issu de la chasse)	Chasse autorisée mais voie non retenue car en cours de gestion (conventions)	Non
Ingestion indirecte de végétaux aériens et/ou racinaires autoproduits	<u>Au droit du secteur d'étude</u> : absence de cultures potagères ou fruitières au droit de la zone d'étude.	Non
Inhalation de composés volatils issus du sol ou des eaux souterraines dans l'air ambiant	Absence de composés volatils	Non
Contact cutané avec les sols de surface	<u>Au droit du secteur d'étude</u> : les secteurs de Ramèle et Nartau sont interdits d'accès par panneautage. Concernant les cibles autorisées (suivi des verses) les modalités de prévention (port de tenue de travail) permettent d'écarter cette voie d'exposition.	Non



L'analyse du recensement des voies de transfert puis d'exposition conduit à mettre en avant la voie de transfert via les eaux du Grésillou en direction de l'aval (Orbiel). En effet, l'ensemble des voies d'exposition potentielles ont été écartées pour la vallée du Grésillou au regard des études menées (poussières), des restrictions d'usages existantes (contact et ingestion de sols, pêche) et de conventions à venir (chasse). La gestion spécifique de la voie de transfert (réduction des flux) permettra ainsi une réduction des impacts en aval (vallée de l'Orbiel).

5.4.2 ***Hiérarchisation des sources***

Un travail de hiérarchisation des sources a été effectué en tâche 3 par un scoring confrontant chaque source potentielle aux paramètres suivants : concentrations, volume, polluants/toxicité/mobilité, stabilité, mesures de gestion en place et contribution au flux d'As vers l'Orbiel.

Une pondération (6) prédominante a été affectée au paramètre de la contribution au flux d'As vers l'Orbiel. Ce paramètre est essentiel dans l'atteinte des objectifs de réduction du flux de l'As vers les enjeux en aval, qui se réalise principalement via les eaux superficielles.

Les actions de gestion ne seront donc pertinentes que sur les sources à l'origine de flux significatifs. Ainsi seules les sources contribuant le plus aux flux dissous ou particuliers d'arsenic en situation chronique, événements pluvieux significatifs ou d'évènement exceptionnel seront ciblées par les actions de gestion proposés :

- La verse de Ramèle en raison de son flux d'As en chronique et lors d'évènement pluvieux significatifs important et des risques d'arrachement du pied de verse et de manière secondaire par ravinement du corps de verse ;
- Dans une moindre mesure, les verses principales et secondaires de Nartau en raison de son flux d'As en chronique et lors d'évènement pluvieux significatifs ;
- La plateforme Marty en raison du risque de ravinement lors des crues malgré un flux en chronique et lors d'évènements pluvieux significatifs faible ;
- La zone des résidus pour la même raison que la plateforme Marty ;
- Les sédiments du Grésillou en raison des risques de charriage de sédiments pollués lors des crues.

Compte tenu des résultats obtenus et des données existantes, les schémas conceptuels finaux de chacune des zones source retenue sont présentés dans les figures et paragraphes suivants.

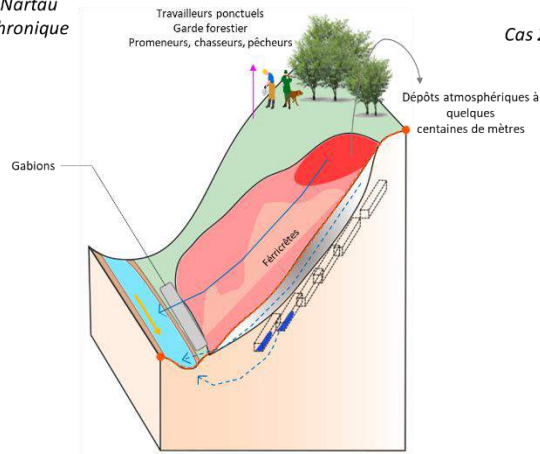
5.4.3 ***Application à chaque zone source retenue***

Des schémas conceptuels ont été établis pour les zones sources primaires retenues : Ramèle, Nartau, plateforme Marty et zone de résidus de four (Figures 77, 78, 79 et 80). Les schémas conceptuels à l'échelle de la vallée sont abordés dans le chapitre suivant.

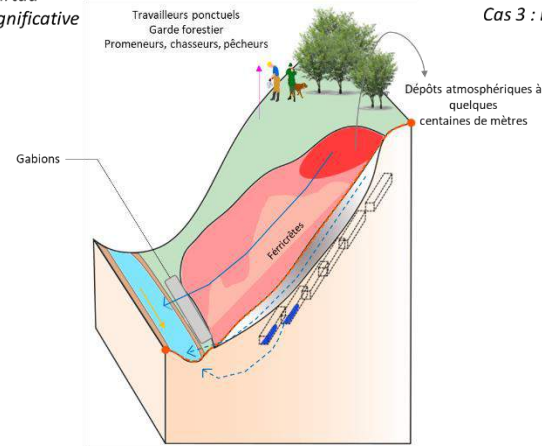
Ces schémas conceptuels sont de types SVC (Sources / Vecteurs / Cibles) et permettent de visualiser le fonctionnement de chaque zone source lors des périodes des 3 flux différenciés présentés *supra*.



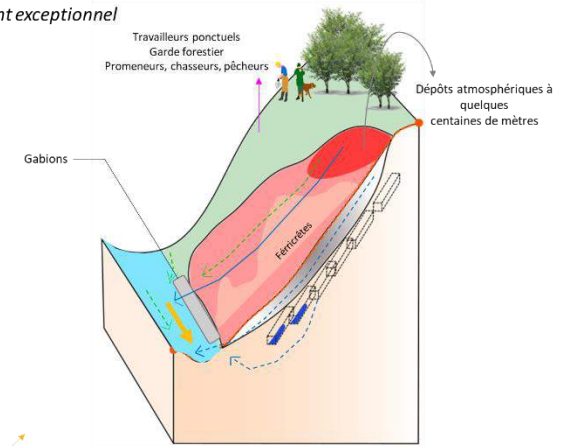
Site de Nartau
Cas 1 : Chronique



Site de Nartau
Cas 2 : Pluie significative



Site de Nartau
Cas 3 : Evènement exceptionnel



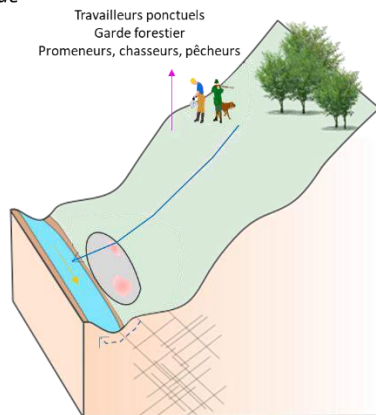
- Voie d'exposition pour les cibles
- ▲ Envoy de poussière
- Transfert par les eaux d'infiltration
- Transfert par les eaux de ruissellement
- Transfert par les eaux du Grésillou
- Impact en As
- Transfert par les eaux de crues (charriage, arrachement)

Figure 75. Schémas conceptuels de la verse de Nartau (ENVISOL)

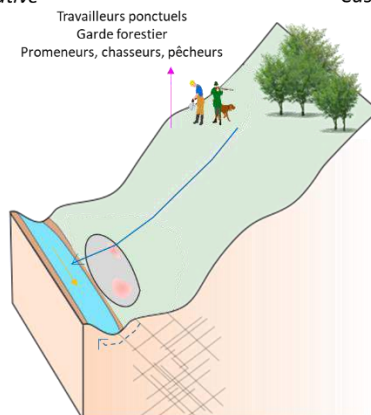
Ces schémas conceptuels mettent en avant un transfert par ruissellement et via les eaux d'infiltrations de subsurface en direction des eaux du Grésillou. La proportion de l'As particulaire est minoritaire mais est supposée augmenter lors d'évènements météorologiques exceptionnels (hypothèse non quantifiée). La présence des Gabions en pied de versé permet d'éviter tout phénomène de charriage lors d'épisodes de crue. La seconde voie de transfert concerne l'envol de poussières, la verse n'étant pas recouverte. Cette voie est peu significative et limitée à quelques centaines de mètres au regard des conclusions des études réalisées. Enfin, il est à noter qu'au regard de la topographie de la versé principale, celle-ci est difficilement accessible aux promeneurs.



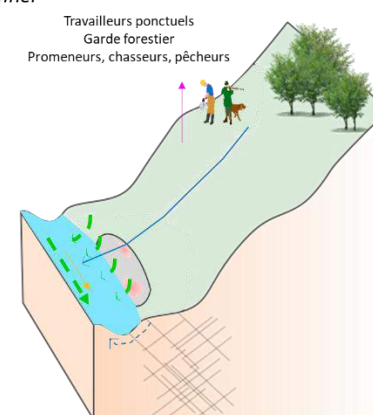
Zone de résidus de four
Cas 1 : Chronique



Zone de résidus de four
Cas 2 : Pluie significative



Zone de résidus de four
Cas 3 : Evènement exceptionnel



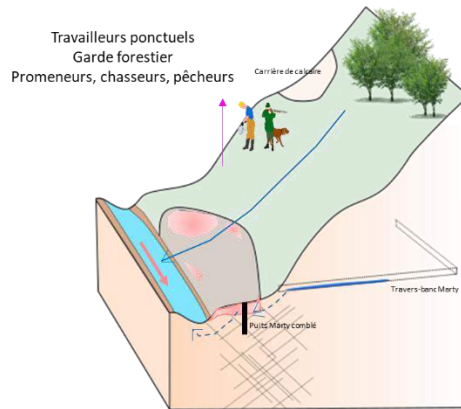
- Voie d'exposition pour les cibles
- Transfert par les eaux d'infiltration
- Transfert par les eaux de ruissellement
- Transfert par les eaux du Grésillou
- Impact en As
- Transfert par les eaux de crues (charriage, arrachement)

Figure 76. Schéma conceptuel de la zone de résidus de four (ENVISOL)

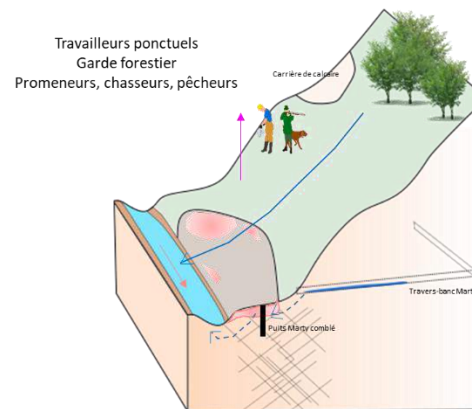
Ces schémas conceptuels mettent en avant un transfert par ruissellement et via les eaux d'infiltrations de subsurface en direction des eaux du Grésillou et par charriage lors d'évènements de crue. Toutefois, il est à rappeler que le volume de résidus est faible (estimé à 300 m³) et la contribution estimée de cette zone, au flux du secteur Nartau, serait faible (1,2%). Les proportions d'As dissous et particulaire sont donc les mêmes que pour la verse de Nartau en dehors de périodes associées à des événements exceptionnels (crues) durant lesquelles des résidus sont emportés par les eaux du Grésillou.



Plateforme Marty
Cas 1 : Chronique



Plateforme Marty
Cas 2 : Pluie significative



Plateforme Marty
Cas 3 : Evènement exceptionnel

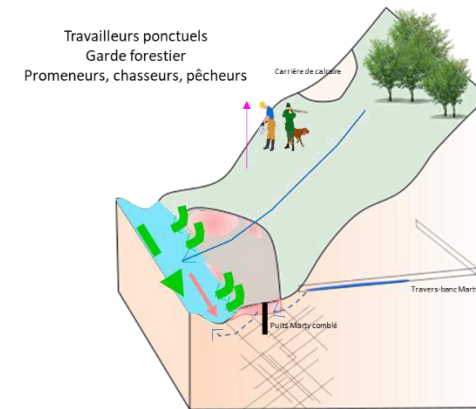


Figure 77. Schéma conceptuel de la Plateforme Marty (ENVISOL)

Ces schémas conceptuels mettent en avant un transfert par ruissellement et via les eaux d'infiltrations de subsurface ainsi qu'au sein de la galerie Travers-banc Marty en direction des eaux du Grésillou. La contribution estimée de cette zone, au flux du secteur Ramèle, serait faible (0,3%). La proportion de l'As particulière est minoritaire mais tend à augmenter lors d'épisodes pluvieux et plus fortement lors d'évènements météorologiques exceptionnels en raison de la situation en zone inondable de la partie basse de la plateforme (hypothèse non quantifiée).

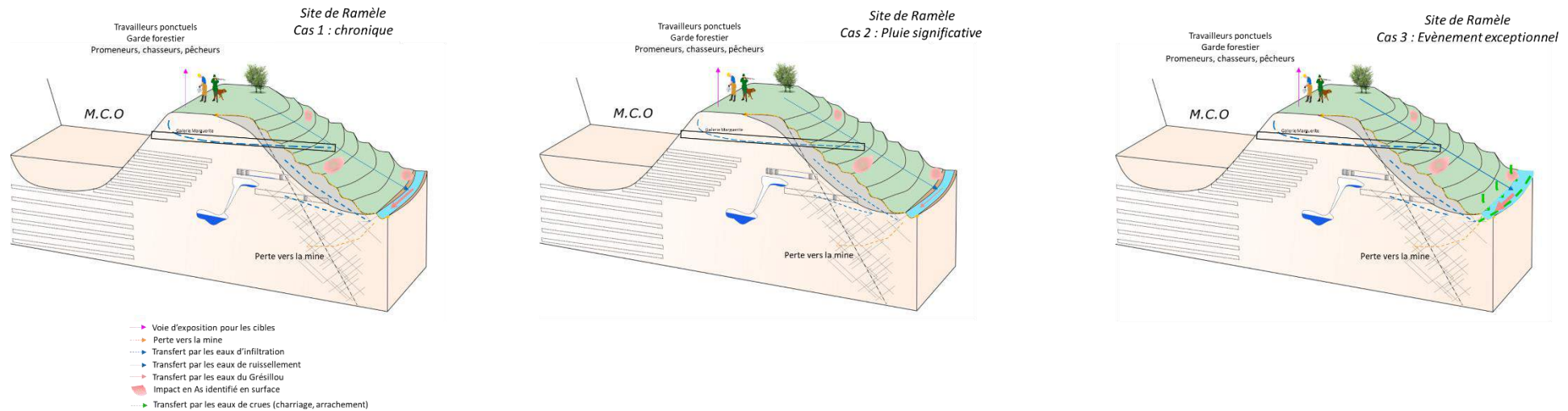


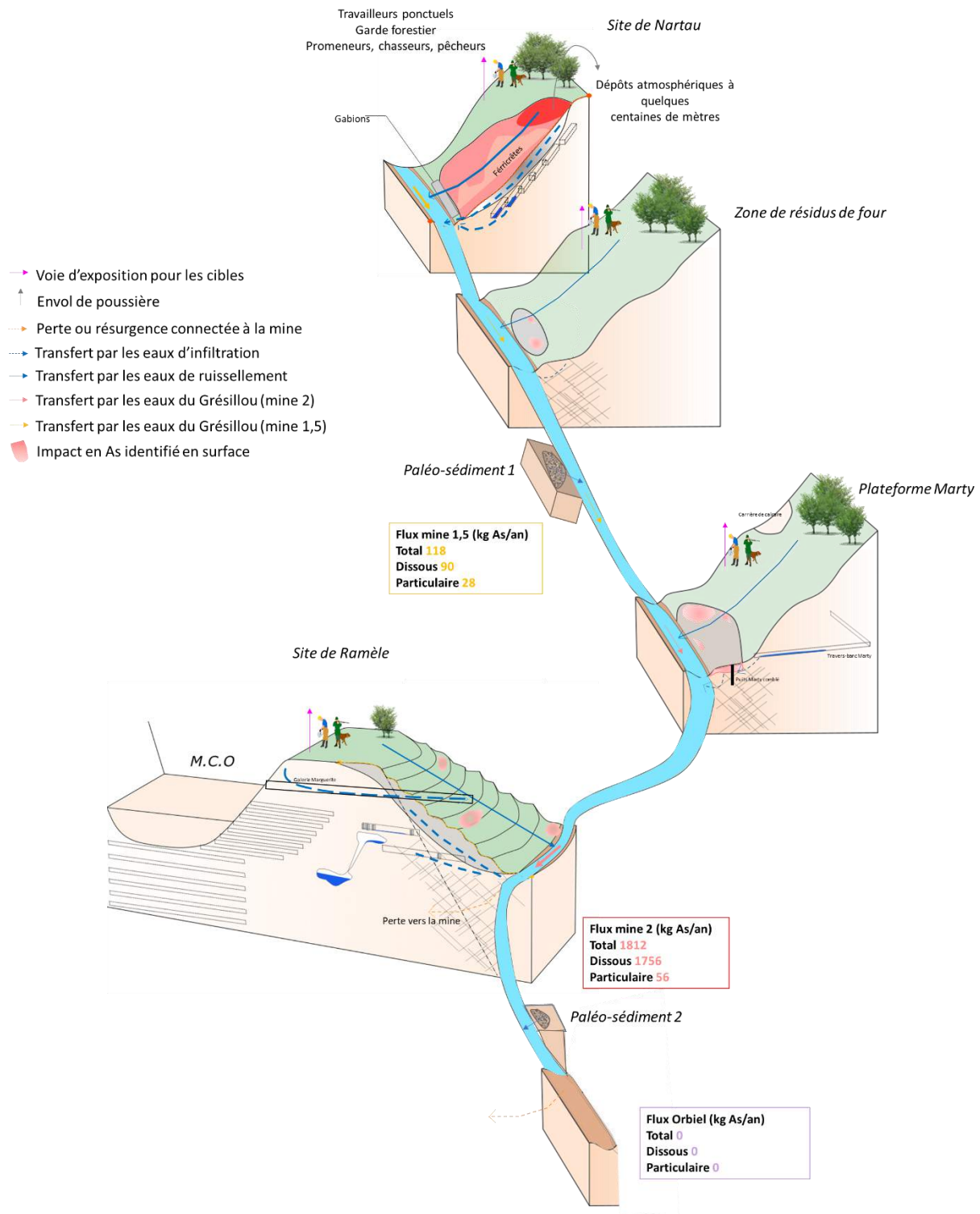
Figure 78. Schéma conceptuel de la verse de Ramèle (ENVISOL)

Ces schémas conceptuels mettent en avant un transfert par ruissellement et via les eaux d'infiltrations de subsurface et les galeries en direction des eaux du Grésillou ainsi qu'en direction du réservoir minier. La proportion de l'As particulière est minoritaire mais tend à augmenter lors d'épisodes pluvieux et plus fortement lors d'évènements météorologiques exceptionnels en raison de la situation en zone inondable de la partie basse de la verse (hypothèse non quantifiée).

5.5 Schéma conceptuel à l'échelle de la vallée du Grésillou

Le schéma conceptuel à l'échelle de la vallée du Grésillou a été réalisé pour les 3 cas : chronique, pluie significative et événement exceptionnel (Figure 80).

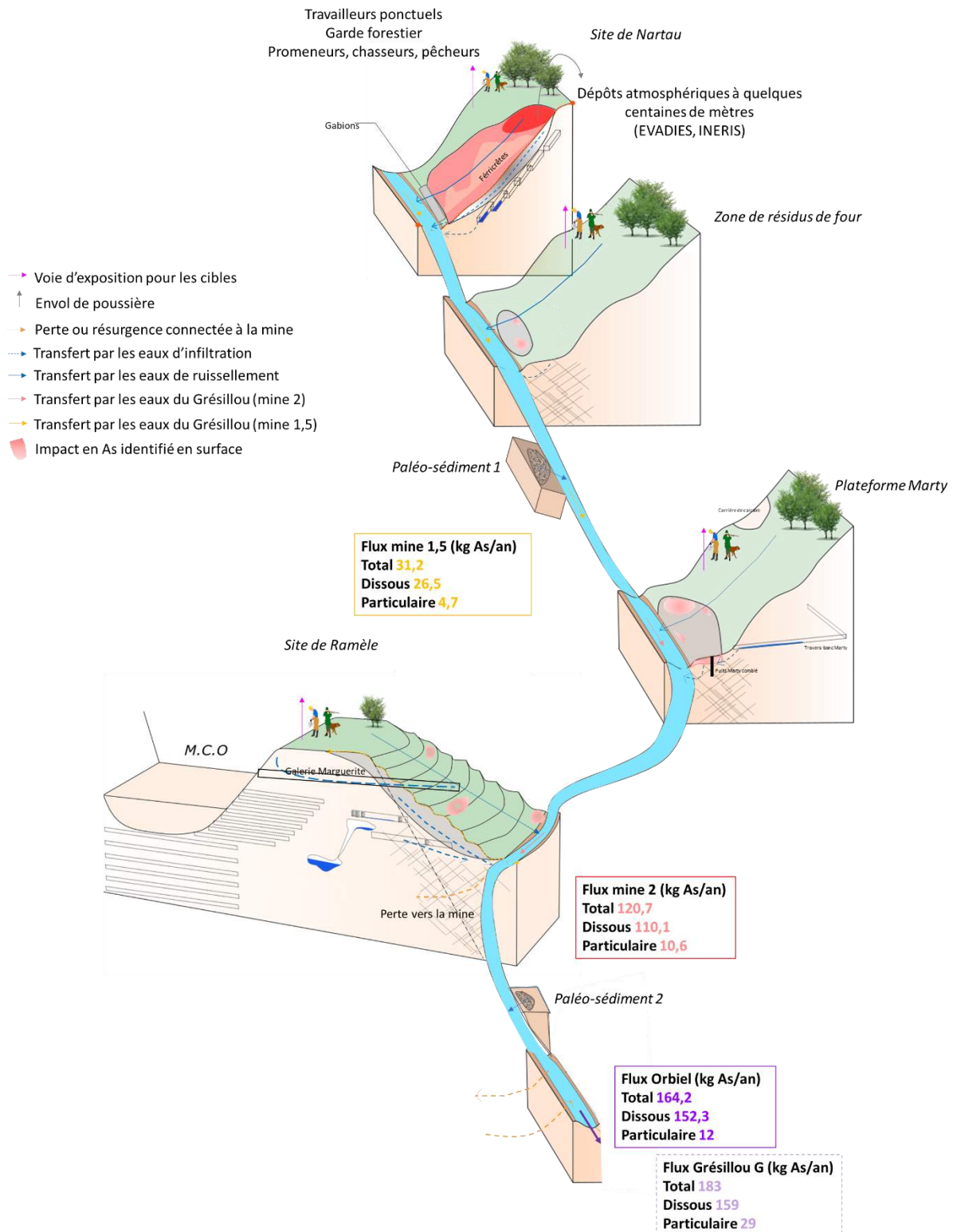
Cas 1 : Chronique



En situation chronique, le flux d'As au niveau de la confluence avec l'Orbiel est nul.



Cas 2 : Pluie significative



En situation de pluie significative (évaluée à 30 jours par an), le flux d'As au niveau de la confluence avec l'Orbiel est estimé à 183 kg/an dont majoritairement de l'As dissous.

Cas 3 : Evènement exceptionnel

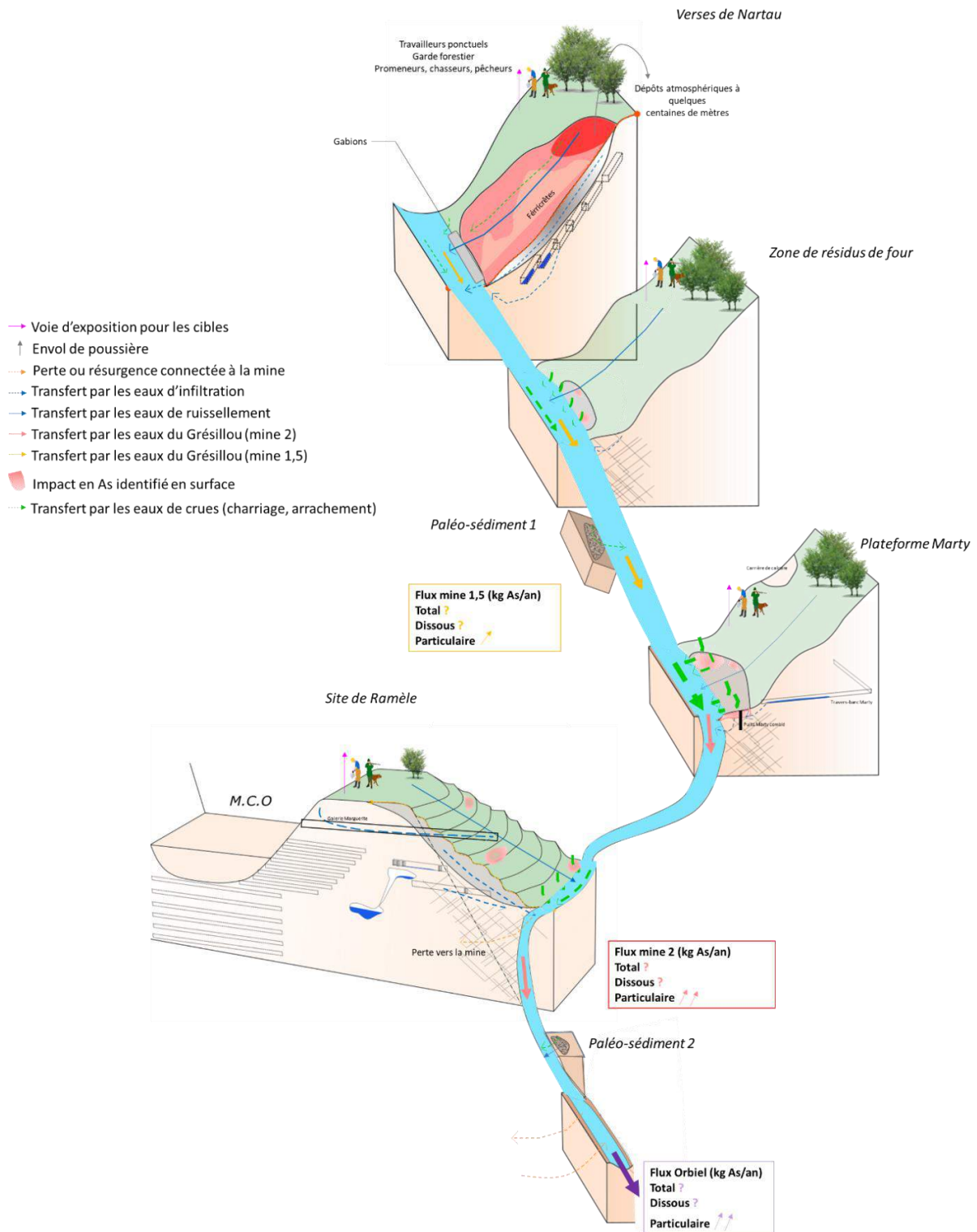


Figure 79. Schéma conceptuel à l'échelle de la vallée du Grésillou (ENVISOL)

Lors d'un évènement météorologique exceptionnel, le flux d'As au niveau de la confluence avec l'Orbiel n'a pu être évalué quantitativement. Toutefois, compte tenu de la situation en pied de versé de Ramèle et du bas de la plateforme Marty, l'apport en As particulaire est supposé fortement augmenté comme l'ont suggéré les indices d'érosions et d'arrachement suite à la crue de 2018.



6 SCENARIOS DE GESTION

L'objectif de l'étude technico-économique est de construire des scénarios de gestion constitués d'une ou plusieurs mesures de gestion puis de les hiérarchiser. Les mesures de gestion visent à éliminer tout ou partie des sources de danger et/ou désactiver ou limiter les voies de transfert et/ou d'exposition des cibles identifiées. Ce travail est donc fondé sur la base des schémas conceptuels établis précédemment et cible l'ensemble de leurs parties constituantes. Ainsi, un scénario de gestion peut être bâti, dans le cadre précis de cette étude, à partir de techniques de dépollution et de réhabilitation, de restrictions d'usage, associées ou non à des mesures de surveillance environnementale.

Ainsi, compte tenu de la dynamique des flux identifiés en arsenic à l'échelle de la vallée du Grésillou, la définition des scénarii de gestion est opérée dans un premier temps pour chaque zone source puis, dans un second, à l'échelle de la vallée permettant une gestion intégrée des impacts et flux en direction de l'Orbiel. L'objectif final visé est la réduction des transferts en direction des cibles en situations chroniques et exceptionnelles (crue par exemple).

6.1 Analyse des enjeux et priorisation des actions de réhabilitation

Des zones sources ont été identifiées sur la base des connaissances actuelles du secteur et du modèle de fonctionnement établi. Elles sont rappelées ci-après :

- la verse de Ramèle, identifiée comme la source la plus contributrice en terme de transfert d'As dissous. Son pied de verse est par ailleurs facilement mobilisable par le Grésillou notamment lors d'épisodes de crues ;
- les verses principale et secondaires de Nartau, contributrices minoritaires du flux en As dissous en direction du Grésillou ;
- la plateforme Marty et zone de résidus de fours, vraisemblablement limitée en volume pour cette dernière, mais localisées partiellement en zone inondable et facilement mobilisable par le Grésillou en phases de crues ;
- les sédiments et paléo-sédiments facilement mobilisables par le Grésillou.

On peut ensuite qualifier les sédiments du Grésillou de source secondaire, c'est à dire générée à partir du transfert de pollution depuis une source primaire et notamment, d'après les conclusions de l'analyse des flux en aval du secteur Ramèle. Le Grésillou constitue finalement le vecteur principal de transfert de l'As dissous ou particulaire vers l'Orbiel.



Bien que des mesures aient déjà été prises, l'analyse du modèle de fonctionnement de la vallée a conclu en l'état en l'absence de maîtrise des sources et donc des transferts des zones sources primaires vers la source secondaire puis en direction de l'Orbiel (toutefois uniquement lors de pluies significatives ou de crues pour cette dernière étape du transfert). Il convient donc, conformément aux dispositions de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, de remédier à cette situation par des mesures de gestion permettant de réduire le plus fortement possible les flux en As, principalement en direction du Grésillou. En effet, les autres voies de transferts et d'exposition identifiées (via les poussières notamment) pour les usagers de la vallée sont considérées comme minoritaires et doivent faire l'objet de restrictions d'usages comme c'est d'ores et déjà le cas.

A la lumière de ces conclusions, il apparaît nécessaire de viser pour objectif, une réduction significative des flux en As dissous et particulaire vers le Grésillou permettant ainsi un contrôle des transferts majoritaires et donc, *in fine*, une gestion des enjeux en aval hydraulique de la vallée du Grésillou.

Par ailleurs, comme énoncé *supra*, une gestion intégrée des zones sources doit être favorisée afin d'identifier les scénarii les plus judicieux et les plus équilibrés face aux enjeux et objectifs ciblés (application du principe de proportionnalité) à mettre en œuvre à l'échelle globale de la vallée permettant une réduction des flux en direction de l'Orbiel, notamment lors d'épisodes météorologiques exceptionnels (crues). Ainsi ces scénarios, dits intégrés, sont construits en envisageant une combinaison de mesures de gestion sur tout ou partie des sources primaires et/ou secondaire. Ces différentes combinaisons sont issues d'une réflexion approfondie visant une définition des modalités de gestion robustes suivant une approche logique et raisonnée.

6.2 Méthodologie de l'étude technico-économique

L'étude technico-économique a pour objet de répondre au principe de proportionnalité quant à l'ampleur des impacts à gérer, tous milieux confondus. Elle permet de prendre en considération les enjeux techniques et économiques dans une perspective de développement durable permettant *in fine* l'établissement d'un outil d'aide à la décision (OAD).

Elle repose sur la méthodologie du bilan coûts-avantage introduite dans la doctrine nationale relative à la gestion des sites et sols pollués (textes d'avril 2017). Elle se compose de 3 phases distinctes préalables à la mise en œuvre du bilan coûts-avantages en tant que tel :

- **la pré-sélection des techniques de réhabilitation envisageables** compte tenu du contexte spécifique de l'étude et applicables *a priori* à la gestion des impacts par de l'arsenic et des transferts associés. Cette présélection est présentée dans le détail dans le rapport de tâche 4. Elle a été réalisée à partir de recherches bibliographiques, de retours d'expériences sur des cas similaires et d'échanges avec des entreprises spécialisées dans le domaine de la dépollution et la réhabilitation.

La technique de réhabilitation aura pour objet de gérer les impacts induits potentiellement par les sources primaires et secondaire que ce soit en phases chronique ou exceptionnelle (cruce). Elle pourra ainsi, tout en respectant l'objectif visé, agir soit sur la source (danger) avec des opérations de dépollution avec retrait/extraction ou dégradation du polluant soit sur les voies de transferts (confinement, et/ou immobilisation).

- **la définition de scénarii de gestion par zones sources,**
- **la définition de scénarii de gestion à l'échelle de la vallée du Grésillou** intégrant des mesures de gestion sur tout ou partie des zones sources primaires et secondaire.



Les scénarios de gestion proposés ont été élaborés sur la base des données acquises à ce stade et des interprétations réalisées présentant des incertitudes résiduelles (voir chapitre 9). Il s'agit d'orientations qui devront être confortées par la mise en œuvre d'une phase de conception intégrant possiblement des essais complémentaires sur le terrain (Plan de Conception des Travaux).

6.3 Présentation des scénarios par zone source

Parmi les techniques précédemment pré-sélectionnées, une sélection finale des techniques par zone source a été réalisée pour construire deux scénarios différenciés par zone source (Tableau 18). Le choix de techniques de réhabilitation a été orienté spécifiquement à chaque zone par des considérations techniques de faisabilité, d'atteinte des objectifs et de contraintes. Les scénarios sont décrits dans les chapitres suivants.



Tableau 14. Techniques de réhabilitation sélectionnées et intégrées à un scénario pour chaque zone d'intérêt majeur du site d'étude

	Technique de réhabilitation non sélectionnée	Verse de Ramèle		Verses de Nartau		Plateforme Marty		Zone résidus de fours		Sédiments / Grésillou	
	Technique de réhabilitation sélectionnée	R1	R2	N1	N2	M1	M2	F1	F2	G1	G2
	A1 - Excavation des sols avec évacuation vers filière	Partiel									
	A2 - Excavation des sols avec évacuation et stockage au sein d'un confinement sur site										
	A5 – Confinement in situ/ex situ par géomembrane ou béton projeté		Partiel								
	A6 – Confinement par stabilisation in situ par soil mixing		Partiel								
	A11 - Correction de versant										
	A13 - Ouvrages hydrauliques passifs (ouvrage de gestion des eaux de ruissellement : transit et pièges à sédiments)									Sources primaires	Source primaires et aval Grésillou
	A15 - Confortement en pied de verse										



6.3.1 **Nartau**

6.3.1.1 **Scénario Nartau 1 : excavation totale**

Description

Ce scénario prévoit l'excavation et l'évacuation hors site de l'ensemble des matériaux constitutifs des verses (A1). Le volume, considéré comme incertain, de matériaux à excaver est estimé à 12 000 m³ soit 25 000 tonnes (hypothèse 1,30 m d'épaisseur en moyenne).

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de la Villanière par des camions.

L'excavation de la Verse de Nartau sera réalisée du haut vers le bas afin d'assurer la non déstabilisation de la verse. La création d'une piste d'accès au haut de verse sera donc réalisée. L'excavation sera mise en œuvre de manière synchrone à la création de l'accès du haut vers le bas de verse par une pelle hydraulique excavatrice.

Les matériaux seront acheminés jusqu'à la plateforme de transit par deux engins articulés de 25 à 30 tonnes en rotation. Celle-ci sera positionnée au droit de la plateforme Marty, qui sera préalablement évacuée afin d'assurer un non mélange des matériaux. Une pelle hydraulique excavatrice sera positionnée sur la plateforme de transit pour transvaser les matériaux des engins articulés descendant des verses dans les camions routiers de 30 t, qui les achemineront vers les filières. Il est prévu deux camions de 30 t en rotation, poids maximum autorisés par la mairie pour les travaux de 2015.

Lors des travaux, la gestion des eaux de ruissellement sera réalisée sur la piste d'accès et la plateforme de transit (A13).

Le réaménagement du versant prévoit la mise en place de correction de versant afin de gérer les eaux de ruissellement associé à la revégétalisation progressive du site.

La durée est estimée à 6 mois de saison sèche sur 2 années consécutives.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- abattement de 100 % des flux d'As total issus de Nartau (dissous et particulaire, envol de poussière) ;
- réduction estimée de 20% du flux d'As total dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.

Contraintes

- Demande d'autorisation AOT;
- les travaux sur les accès et la partie amont de la verse principale de Nartau induisent une utilisation du foncier privé et engendrent des demandes administratives d'occupation ;
- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'Etat pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.



- Les travaux nécessitent 2 phases de chargement et par conséquent la mise à disposition de la plateforme Marty entraînant par conséquent l'évacuation des matériaux en place.
- Il existe un risque de mobilisation de l'As stable en l'état du fait d'un changement des conditions de l'état du milieu lors des travaux (excavation). Ce risque est renforcé durant la période hivernale (lessivage) entre les deux phases d'intervention en saison sèche.
- Un trafic important de camion sera nécessaire à l'évacuation des déchets avec, en sus des nuisances associées, un bilan carbone associé très défavorable.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- le volume réel des matériaux à excaver a une influence importante sur le coût des travaux. En l'état des connaissances, il persiste une incertitude sur la topographie en dessous de la verse avec la possible présence d'une inflexion barrière rocheuse, l'épaisseur moyenne des matériaux serait comprise entre 1 et 2,5 m ;
- l'incertitude sur la destination des matériaux peut également influencer les coûts de transport des terres polluées ;
- Incertitude sur les teneurs résiduelles après excavation des sols. Cette incertitude pourra être levée par une caractérisation complémentaire permettant un bilan de masse ;
- en terme de surveillance, une vérification annuelle visuelle de la verse sera à prévoir.

Coûts

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	3% des travaux	210 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Forfait	100 000
Travaux d'excavation	30 euros/m ³	360 000
Transport (80 km) et traitement en filière	250 euros/tonnes	6 250 000
Travaux de réaménagement à la suite de l'excavation	Forfait	150 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	7 170 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	300 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	2 000

Plan

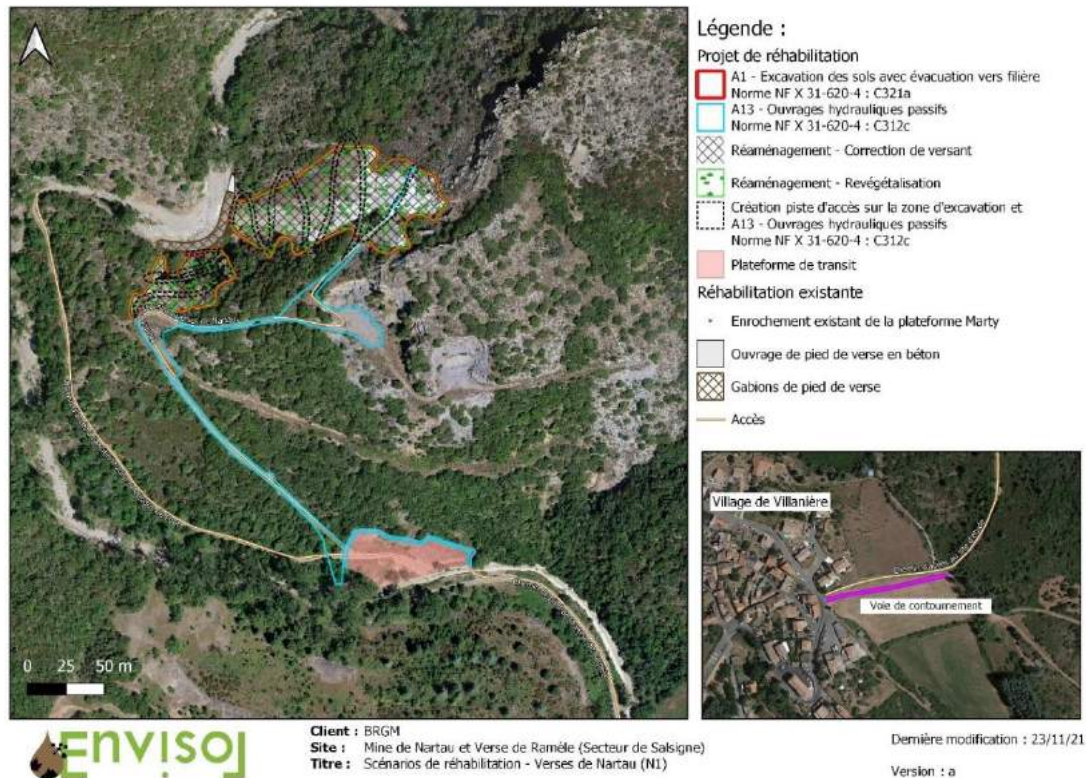


Figure 80. Scénario Nartau 1 : excavation totale

6.3.1.2 Scénario Nartau 2 : Confinement des verses

Description

Ce scénario prévoit le confinement de la verse principale par géomembrane ou béton projeté et de la verse secondaire par béton projeté au vu de sa configuration, permettant ainsi d'isoler les sources de pollution (A5). Au total, la surface à confiner est estimée à 9200 m².

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

Le confinement nécessite un ancrage unique en tête de verse de la géomembrane ou du grillage dans le cas du béton projeté. La création d'une piste d'accès au haut de verse sera donc réalisée. Puis, il sera prévu un reprofilage manuel (moyens légers) des matériaux pour permettre cet ancrage. Les matériaux, estimés à 200 t (verse principale et verse secondaire), seront acheminés jusqu'à la plateforme de stockage des matériaux de chantier et de transit par un engin articulé de 25 à 30 tonnes en rotation. La plateforme de stockage et de transit sera positionnée au droit de la plateforme Marty. Ceci nécessitera l'évacuation de Marty au préalable ou a minima des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente.

La géomembrane ou le béton projeté seront raccordés en pied aux gabions existant au niveau de la verses principale et secondaires.

Lors des travaux, la gestion des eaux de ruissellement sera réalisée sur la piste d'accès et la plateforme de transit (A13).



Le projet prévoit un réaménagement paysager de la zone par teinture du béton projeté ou ajout de géocomposite en fibre naturelle permettant à la végétation de se développer bien que les pentes soient très raides.

La durée est estimée à 4 mois de saison sèche sur 2 années consécutives.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total issus de Nartau (dissous et particulaire)
- une réduction estimée de 15% du flux d'As dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.

Contraintes

- Demande d'autorisation AOT ;
- les travaux sur les accès et la partie amont de la verse principale de Nartau induisent une utilisation du foncier privé et engendre des demandes administratives d'occupation ;
- la forte pente de Nartau (supérieure à 35°) implique des conditions d'intervention particulière : travaux en technique acrobatique ;
- le reprofilage des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les contraintes liées à la géométrie de la verse qui requièrent des caractéristiques physiques de la géomembranes particulières et des dimensionnements spécifiques ;
- les contraintes liées à la géométrie de la verse et à ses caractéristiques chimiques pour le béton projeté nécessitant un ancrage obligatoire dans le sol en place sous la verse. Elles seront associées à des dimensionnements et formulations spécifiques ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- vérification semestrielle des ouvrages (éventuels désordres locaux) ;
- pérennité des ouvrages d'étanchéification est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane et à 50-60 ans pour le béton projeté ;
- incertitude sur l'épaisseur des verses permettant les ancrages du confinement ;
- étude de faisabilité plus aboutie, pourrait éventuellement venir apporter des solutions techniques permettant de limiter au maximum les évacuations préalables nécessaires (plateforme Marty) et ainsi permettre un confinement d'une partie des matériaux de la plateforme dans un contexte de travaux sur les verses de Nartau.



Coûts

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros) (béton projeté sur verses secondaires + géomembrane sur verse principale)	Prix estimé HT (euros) (béton projeté sur les verses de Nartau)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	Forfait (environ 8%)	200 000	200 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000	100 000
Reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Forfait	100 000	100 000
Reprofilage pour béton projeté	Forfait	100 000	100 000
Installation du chantier pour béton projeté	Forfait	100 000	100 000
Travaux de recouvrement béton projeté	250 euros/m ³	500 000 (verses secondaires)	2 300 000 (principal et secondaire)
Travaux de recouvrement géomembrane (comprend le reprofilage)	130 euros/m ³	950 000 (verse principale)	
Transport (80 km) et traitement en filière	250 euros/tonnes	50 000	50 000
Travaux de réaménagement à la suite du confinement	Forfait	150 000	150 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	2 250 000	3 310 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	100 000	100 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	10 000	10 000

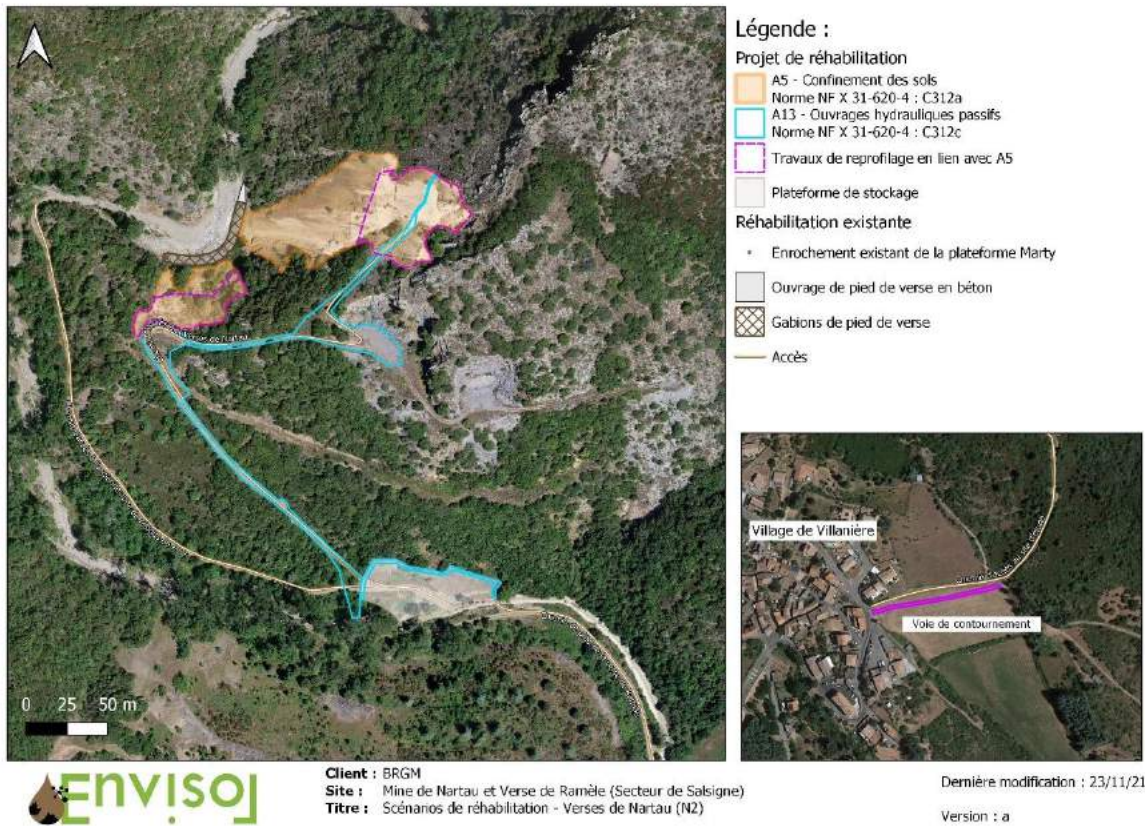


Figure 81. Scénario Nartau 2 : Confinement

6.3.1.3 Mesures complémentaires

En sus des restrictions d'usage énoncées au chapitre 3.4, les restrictions d'accès aux galeries (ouvrages débouchant au jour) sont maintenues (panneaux signalant un accès interdit au public).



6.3.2 Ramèle

6.3.2.1 Scénario Ramèle 1 : gestion pied de verse, des eaux et excavation de l'ancienne zone d'impact cheminée

Description

Ce scénario prévoit la mise en place de gabions pour conforter et protéger le pied de verse en partie amont de la zone busée afin de protéger les matériaux mobilisables lors d'évènements exceptionnels (crue) dans le Grésillou (A15). Il est prévu un ouvrage de 160 m de longueur sur 3 à 4 m de hauteur.

Le scénario prévoit une déviation des eaux de ruissellement externes en amont de la verse par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés afin de limiter l'érosion, la lixiviation et le transport de l'As vers le Grésillou (A13). Il est envisagé de dévier les eaux de ruissellement externes par une ancienne piste de contournement de la MCO pour rejoindre le ruisseau de la Villanière. La longueur de l'ouvrage est estimée à 700 m linéaires. Ces travaux engendreront 21000 m³ de déblais (estimation).

Le scénario prévoit également une gestion des eaux de ruissellement internes par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés (A13) et de correction de versant au niveau des zones de ravinement pour limiter l'érosion (A11).

L'ancienne zone d'impact cheminée présentant de l'As fortement mobilisable, sera traitée spécifiquement par excavation et évacuation hors sites des matériaux (A1). Le volume moyen de matériaux à excaver est estimé 12 000 m³ soit 25 000 tonnes (moyenne 5 m d'épaisseur sur 2000 m² en zone source avec les parements). L'excavation sera réalisée du haut vers le bas par deux pelles hydrauliques excavatrices. La création d'une piste d'accès sera réalisée en remblais avec notamment les matériaux générés lors de la déviation des eaux de ruissellement externe, afin de relier le haut de l'ancienne zone d'impact cheminée au chemin existant en haut de verse. Les matériaux seront acheminés en haut de verse par un engin articulé de 25 à 30 tonnes. Une pelle hydraulique excavatrice sera positionnée en haut de la verse pour transvaser les matériaux des engins articulés dans les camions routiers de 30 t, qui les achemineront vers les filières. Il est prévu deux camions de 30 t.

Pendant et après les travaux, la zone sera mise hors d'eau par un ouvrage hydraulique passif. La zone sera remblayée avec les matériaux des pistes sous réserve de leur teneur en As. La zone sera recouverte de topsoil puis revégétalisées.

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

La gestion du pied de verse et des eaux sera réalisée dans un premier temps sur une période de 4 mois. Les travaux sur l'ancienne zone d'impact cheminée seront à mettre en œuvre après la levée des incertitudes sur la caractérisation de la verse de Ramèle. La durée est estimée à 10 mois en saison sèche sur 2 années consécutives.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 100 % des flux d'As total issus du pied de verse et de l'impact cheminée puis de 40 % pour le reste de verse (dissous et particulaire) ;
- une réduction estimée de 75% du flux d'As total soit un flux résiduel de 25% dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.



Contraintes

- Demande autorisation AOT et demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- les travaux sur les accès induisent une utilisation du foncier privé et engendrent des demandes administratives d'occupation ;
- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes ;
- Il existe un risque de mobilisation de l'As dans le cadre de l'exécution des travaux (excavation).
- Un trafic important de camion sera nécessaire à l'évacuation des déchets avec, en sus des nuisances associées, un bilan carbone associé très défavorable.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- le volume réel des matériaux à excaver ayant une influence sur le coût des travaux. En l'état des connaissances, il persiste une incertitude sur le dimensionnement notamment en vertical de l'ancienne zone d'impact cheminée ;
- l'incertitude forte sur le niveau de contribution des impacts de surface quantifiés vis-à-vis de la verse entière et des potentiels impacts en profondeur. Il est recommandé de limiter ces incertitudes avant d'engager les travaux sur les zones d'impact ;
- l'incertitude sur la destination des matériaux (réutilisation des terres issues de l'ouvrage destiné à gérer les eaux externes) pouvant influencer les coûts ;
- en terme de surveillance, une vérification semestrielle des gabions et ouvrages passifs hydrauliques et lors d'évènements pluvieux significatifs et exceptionnels.



Coûts

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires (dont caractérisation complémentaire de la zone d'impact cheminée)	4% des travaux	100 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Gabion pied de verse	Forfait	360 000
Gestion des eaux de ruissellement externes	50 euros/ml	35 000
Gestion des eaux internes (ouvrage et correction versant)	Forfait	150 000
Etude diagnostic complémentaire de la verse	Forfait	250 000
Accès piste + gestion des eaux à la zone excavation	50 / m ³	1 250 000
Travaux d'excavation	80 euros/m ³	1 265 000
Transport (80 km) et traitement en filière	250 euros/tonnes	4 250 000
Travaux de réaménagement à la suite de l'excavation	Forfait	300 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	8 280 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	300 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	10 000

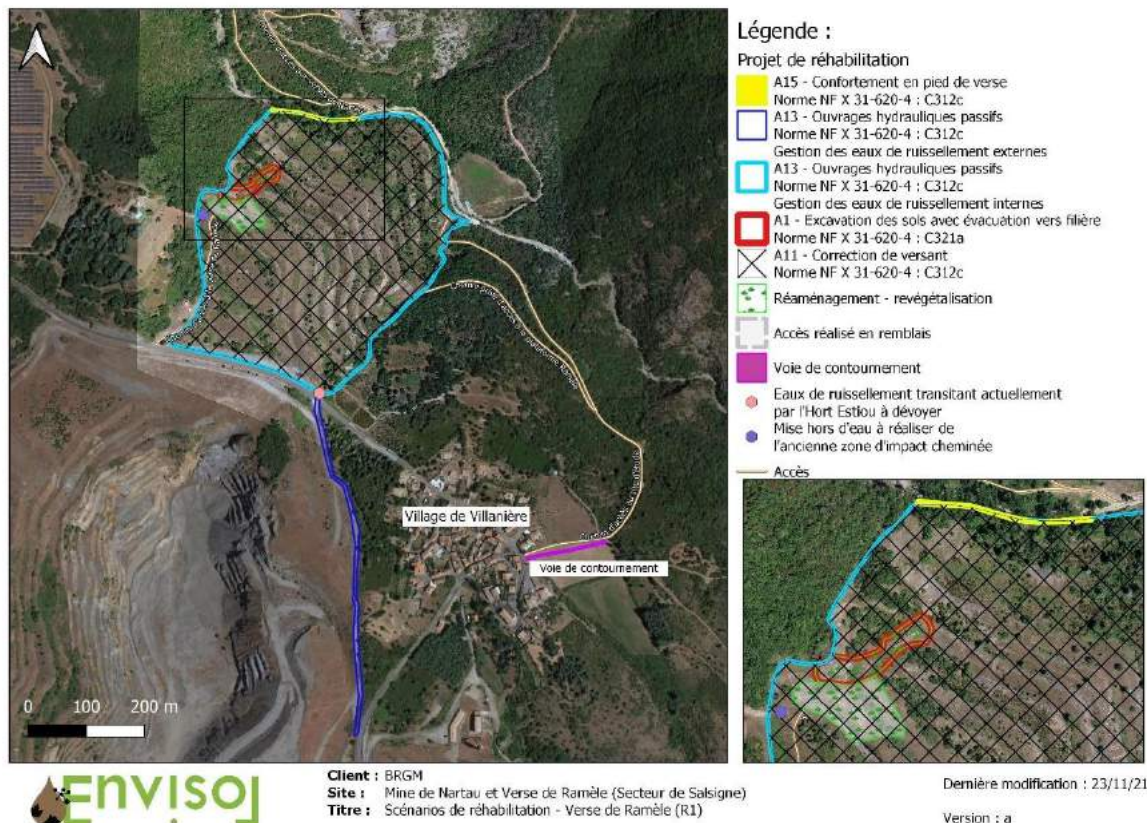


Figure 82. Scénario Ramèle 1 : gestion pied de verse, des eaux et excavation de l'ancienne zone d'impact cheminée

6.3.2.2 Scénario Ramèle 2 : gestion pied de verse, eaux et confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée

Description

Ce scénario prévoit la mise en place de Gabions pour conforter et protéger le pied de verse en partie amont de la zone busée afin de protéger les matériaux mobilisables lors d'évènements exceptionnels (crue) dans le Grésillou (A15). Il est prévu un ouvrage de 160 m de longueur sur 3 à 4 m de hauteur.

Le scénario prévoit également une déviation des eaux ruissellement externes en amont de la verse par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés afin de limiter l'érosion, la lixiviation et le transport de l'As vers le Grésillou (A13). Il est envisagé de dévier les eaux de ruissellement externes par une ancienne piste de contournement de la MCO pour rejoindre le ruisseau de la Villanière. La longueur de l'ouvrage est estimée à 700 m linéaire. Ces travaux engendreront 21000 m³ de déblais (estimation) qui seront utilisés pour le chantier puis envoyés en filières.

Le scénario prévoit également une gestion des eaux de ruissellement internes par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés (A13) et de correction de versant au niveau des zones de ravinement pour limiter l'érosion (A11).



L'ancienne zone d'impact cheminée, présentant de l'As fortement mobilisable, sera traitée spécifiquement par confinement in situ soit par géomembrane (A5) soit par stabilisation par soil mixing (A6). La surface de la zone est estimée à 2000 m² sur une profondeur de 4 m (8000 m³). La création d'une piste d'accès sera réalisée en remblais avec notamment les matériaux générés lors de la déviation des eaux de ruissellement externe, afin de relier le haut de l'ancienne zone d'impact cheminée au chemin existant en haut de verse. Pendant et après les travaux, la zone sera mise hors d'eau par un ouvrage hydraulique passif. Une gestion spécifique des eaux pluviales sera réalisée par d'une descente d'eau en rocher reliant le bas de la zone confinée au Grésillou.

Le projet prévoit un réaménagement paysager de la zone par ajout de fibres naturelles.

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de la Villanière par des camions.

La gestion du pied de verse et des eaux sera réalisée dans un premier temps sur une période 4 mois. Les travaux sur l'ancienne zone d'impact cheminée seront réalisés après la levée des incertitudes sur la caractérisation de la verse de Ramèle. La durée est estimée à 6 mois en saison sèche sur 2 années consécutives.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 100 % des flux d'As total issus du pied de verse, 90 % issus de l'impact cheminée puis de 40 % pour le reste de verse (dissous et particulaire)
- une réduction estimée de 70% du flux d'As total soit un flux résiduel de 30% dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.

Contraintes

- demande d'autorisation AOT et demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- les travaux sur les accès induisent une utilisation du foncier privé et engendrent des demandes administratives d'occupation ;
- la gestion des eaux de la zone cheminée est obligatoirement nécessaire dans le cas d'un confinement par géomembrane. Avec la solution soil mixing, il pourrait être envisagé après une étude de faisabilité de ne plus gérer les eaux de la zone cheminée par un ouvrage hydraulique passif car l'As sera stabilisé ;
- la solution soil mixing doit être dimensionnée verticalement et horizontalement contrairement au confinement par géomembrane.
- les contraintes liées à la géométrie de la verse qui requièrent des caractéristiques physiques de la géomembrane particulières et des dimensionnements spécifiques ;
- les contraintes liées à la géométrie de la verse pour la réalisation du soil mixing nécessitent des dimensionnements et formulations spécifiques ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'Etat pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.



Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- en terme de surveillance, une vérification semestrielle des gabions et ouvrages passifs hydrauliques et lors d'évènements pluvieux significatifs et exceptionnels ;
- la pérennité des ouvrages de confinement est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane et à 50-60 ans pour le soil mixing ;
- incertitude sur l'efficacité et le dimensionnement du traitement par soil mixing. Une étude de faisabilité permettra de lever ces verrous ;
- le volume réel des matériaux à confiner ayant une influence sur le coût des travaux. En l'état des connaissances, il persiste une incertitude sur le dimensionnement notamment en vertical de l'ancienne zone d'impact cheminée ;
- l'incertitude forte sur le niveau de la contribution des impacts de surface quantifiés vis-à-vis de la verse entière et des potentiels impacts en profondeur. Il est recommandé de combler ces incertitudes avant d'engager les travaux sur les zones d'impact.
- l'incertitude sur le destination des matériaux (réutilisation des terres issues de l'ouvrage destiné à gérer les eaux externes) pouvant influencer les coûts.

Cout

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires (dont caractérisation complémentaire de la zone d'impact cheminée)	4% des travaux	100 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Gabions pied de verse	Forfait	360 000
Gestion des eaux de ruissellement externes	50 euros/ml	35 000
Gestion des eaux internes (ouvrage et correction versant)	Forfait	150 000
Etude diagnostic complémentaire	Forfait	150 000
Accès piste + gestion des eaux à la zone confinée	50 / m ³	600 000
Travaux de confinement (géomembrane ou soil mixing)	130 euros/m ²	260 000
Transport (80 km) et traitement en filière des matériaux lié à la gestion des eaux externes	150 euros/tonnes	630 000
Travaux de réaménagement à la suite de l'excavation	Forfait	150 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	2 635 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	200 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	10 000

Plan

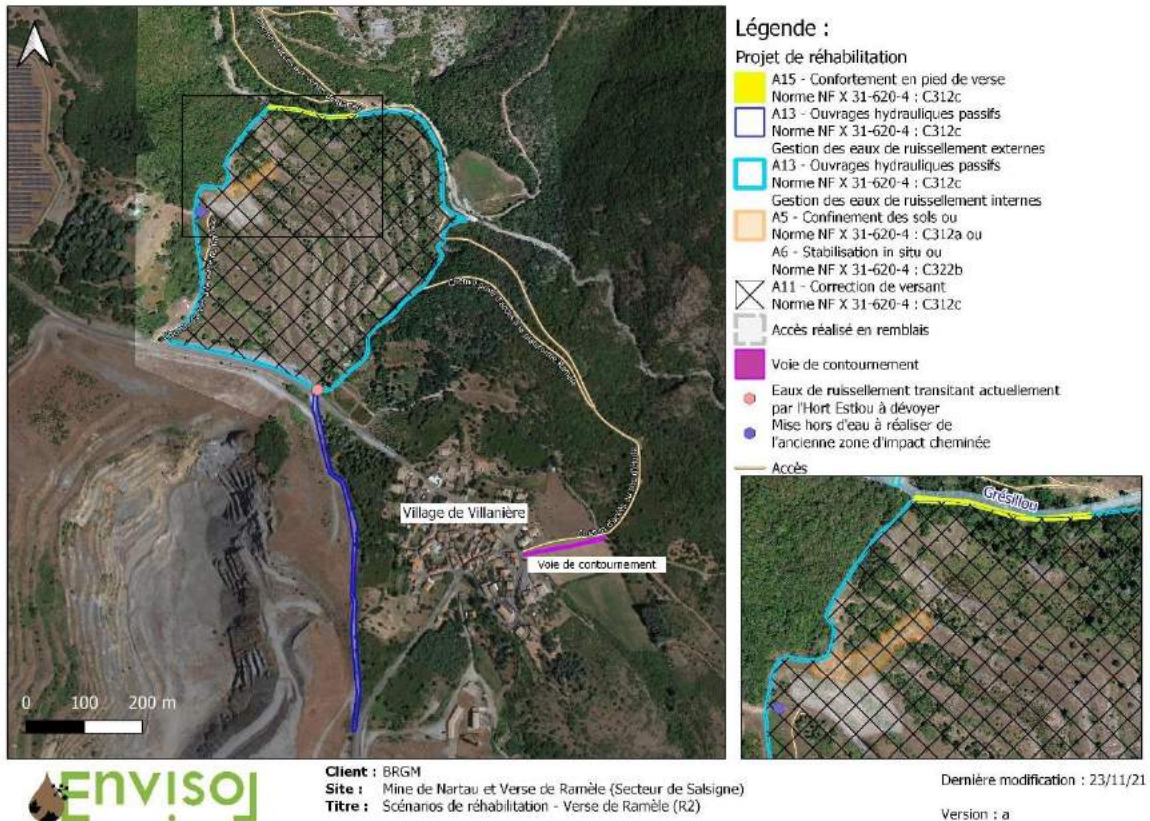


Figure 83. Scénario Ramèle 2 : gestion pied de versé, des eaux et confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée

6.3.2.3 Mesures complémentaires

Les restrictions d'accès aux galeries (ouvrages débouchant au jour) et à la verse dans sa globalité sont maintenues et/ou mises en place (panneaux signalant un accès interdit au public).

6.3.3 Plateforme Marty

6.3.3.1 Scénario Plateforme Marty 1 : excavation totale

Description

Ce scénario prévoit l'excavation et l'évacuation hors site de l'ensemble des matériaux constitutifs de la plateforme (A1). Le volume moyen de matériaux à excaver est estimé à 4000 m³ soit 8400 tonnes (surface de 2000 m² avec une épaisseur de 2 m).

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

L'excavation sera réalisée par une pelle hydraulique excavatrice. Les matériaux seront directement pris en charge par les camions routiers de 30 t, qui les achemineront vers les filières. Il est prévu deux camions de 30 t. Une reprise de la piste d'accès existante sera réalisée. Avant les travaux, la plateforme sera mise hors d'eau par un fossé de contournement.



Le réaménagement prévoit une re-végétalisation progressive du site.

La durée est estimée à 3 mois en saison sèche.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 100 % des flux d'As total issus de la plateforme (dissous et particulaire) ;
- une réduction estimée de 1% du flux d'As total dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée ;
- une réduction estimée de 100 % du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle.

Contraintes

- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.
- Lors des travaux, il existe un risque de mobilisation de l'As dans le Grésillou pouvant engendrer ponctuellement des augmentations de la concentration en As.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- incertitude sur le volume réel des matériaux à excaver, notamment en profondeur, ayant une influence sur le coût des travaux ;
- incertitude sur la destination des matériaux pouvant influencer les coûts de transport des terres polluées.
- Incertitude sur les teneurs résiduelles après excavation des sols. Cette incertitude pourra être levée par une caractérisation complémentaire permettant un bilan de masse ;
- Un trafic important de camion sera nécessaire à l'évacuation des déchets avec, en sus des nuisances associées, un bilan carbone associé très défavorable.

Coûts

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	4% des travaux	95 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Forfait	50 000
Travaux d'excavation	20 euros/m ³	80 000



Transport (80 km) et traitement en filière	250 euros/tonnes	2 100 000
Travaux de réaménagement à la suite de l'excavation	Forfait	50 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	2 475 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	100 000

Plan

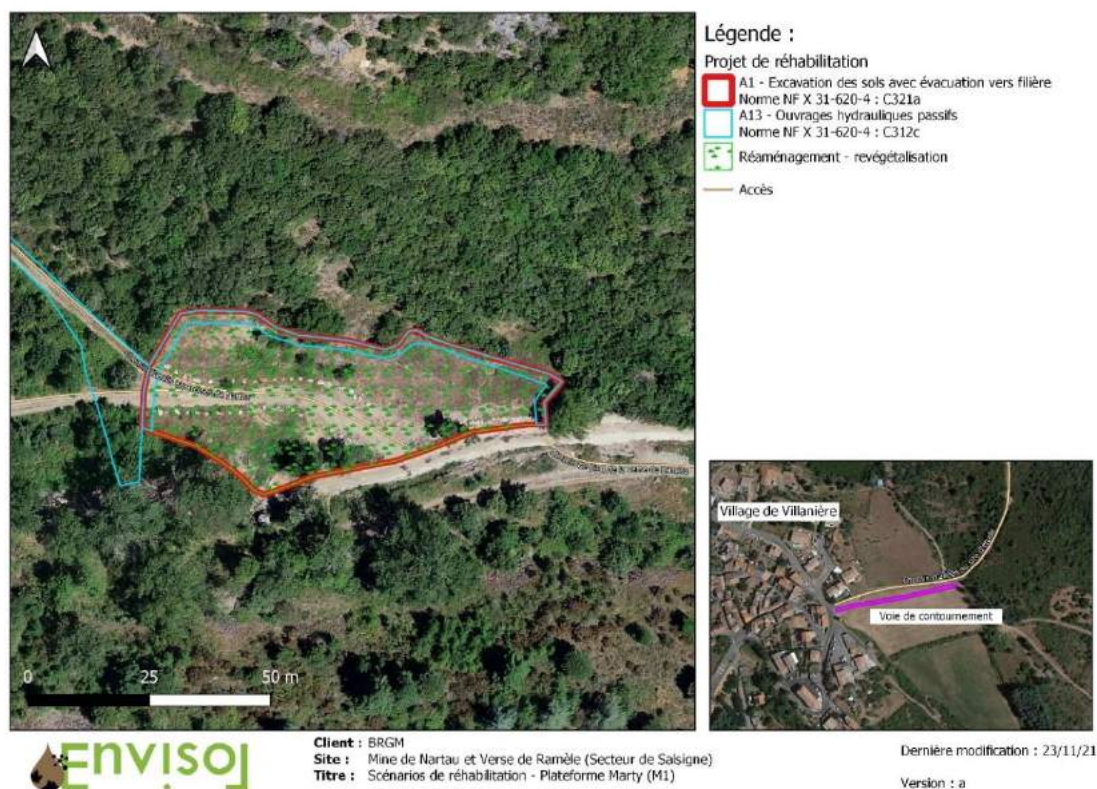


Figure 84. Scénario Plateforme Marty 1 : excavation totale

6.3.3.2 Scénario Plateforme Marty 2 : confinement

Description

Ce scénario prévoit l'excavation des matériaux disposés en zone inondable et confinement de ceux-ci sur le haut de la plateforme par géomembrane (A5). Le volume moyen de matériaux à déplacer hors zone inondable est estimé à 1300 m³ sur une surface 1300 m² et un volume total à confiner est de 4000 m³ sur une surface de 2000 m².

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

L'excavation sera réalisée par deux pelles hydrauliques excavatrices. Les matériaux seront directement acheminés sur le haut de la plateforme dans le cadre de travaux de remodelage puis confinés par une géomembrane. La limite de la plateforme remodelée en bordure aval sera confortée par un mur béton ou gabions (ouvrage de confortement et de protection anti-érosion) sur une longueur 80 m.



Une reprise de la piste d'accès existante sera réalisée. Avant les travaux, la plateforme sera mise hors d'eau par un fossé de contournement. La durée est estimée à 3 mois en saison sèche.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total issus de la plateforme (dissous et particulaire) ;
- une réduction estimée de 1% du flux d'As total dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée ;
- une réduction estimée de 90 % du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle.

Contraintes

- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- la pérennité des ouvrages de confinement est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane ;
- une surveillance annuelle et lors d'évènement pluvieux significatifs sont prévus.

Cout

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	4% des travaux	20 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Forfait	50 000
Travaux d'excavation	20 euros/m ³	26 000
Travaux de confinement (géomembrane ou soil mixing)	100 euros/m ²	200 000
Gabion andain confiné	1500 euros/ml	120 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	516 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	50 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	10 000

Plan

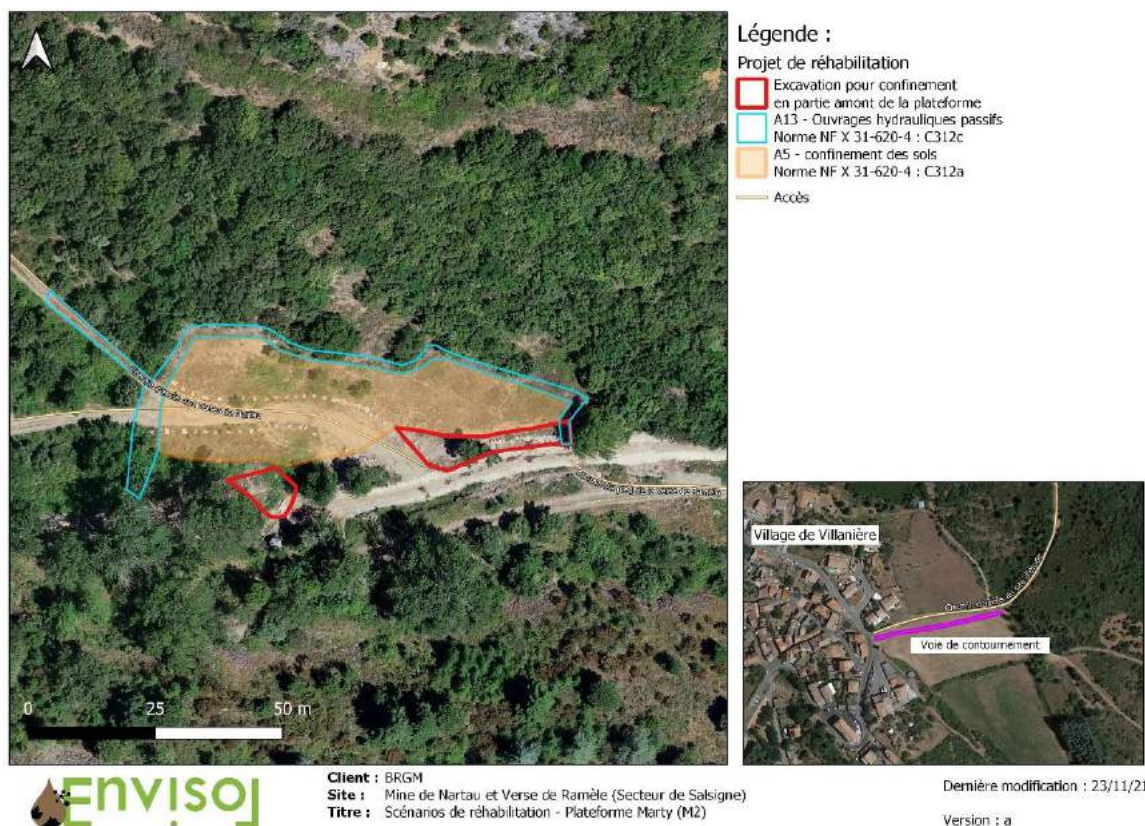


Figure 85. Scénario Plateforme Marty 2 : confinement

6.3.4 Zone de résidus de four

6.3.4.1 Scénario Zone de résidus de four 1 : excavation totale

Description

Ce scénario prévoit l'excavation et l'évacuation hors site en filière agréée de l'ensemble des matériaux constitutifs de la zone de résidus de four (A1). Le volume moyen de matériaux à excaver est estimé à 300 m³ soit 630 tonnes (surface de 200 m² avec une épaisseur de 1,25 m).

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

L'excavation sera réalisée par une pelle hydraulique excavatrice. Les matériaux seront directement pris en charge par les camions routiers de 30 t, qui les achemineront vers les filières. Il est prévu deux camions de 30 t. Une reprise de la piste d'accès existante sera réalisée.

La durée est estimée à 1 mois en saison sèche.



Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 100 % des flux d'As total issus de la zone (dissous et particulaire) ;
- une réduction estimée de 100 % du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle ;
- une réduction estimée de 1% du flux d'As total dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.

Contraintes

- demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- incertitude sur le destination des matériaux pouvant influencer les coûts de transport des terres polluées ;
- incertitude sur les teneurs résiduelles après excavation des sols. Cette incertitude pourra être levée par une caractérisation complémentaire permettant un bilan de masse ;

Cout

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	Forfait	20 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Reprise de piste	Forfait	25 000
Travaux d'excavation	20 euros/m ³	6 000
Transport (80 km) et traitement en filière	250 euros/tonnes	160 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	311 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	15 000

Plan



Figure 86. Scénario résidus de four 1 : excavation totale

6.3.4.2 Scénario zone de résidus de four 2 : et excavation et confinement

Description

Ce scénario prévoit l'excavation de la zone et confinement de celle-ci sur le haut de la plateforme Marty par géomembrane (A5). Le volume moyen de matériaux à excaver est estimé à 300 m³ (volume en place).

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

L'excavation sera réalisée par une pelle hydraulique excavatrice. Les matériaux seront directement acheminés sur le haut de la plateforme Marty. Les matériaux seront stockés sous forme d'andain qui sera confiné par une géomembrane. Le pied de l'andain sera conforté par un mur béton ou gabions sur une longueur 80 m.

Une reprise de la piste d'accès existante sera réalisée.

La durée est estimée à 1 mois de saison sèche.

Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- un abattement envisagé de 100 % des flux d'As total issus de la zone (dissous et particulaire) ;



- une réduction estimée de 100 % du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle ;
- une réduction estimée de 1% du flux d'As total dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.

Contraintes

- demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- la pérennité des ouvrages de confinement est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane.
- Incertitude sur les teneurs résiduelles après excavation des sols. Cette incertitude pourra être levée par une caractérisation complémentaire permettant un bilan de masse ;

Cout

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	Forfait	20 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Reprise de piste	Forfait	25 000
Travaux d'excavation	20 euros/m ³	6 000
Travaux de confinement par géomembrane	100 euros/m ²	20 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	171 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	10 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	10 000

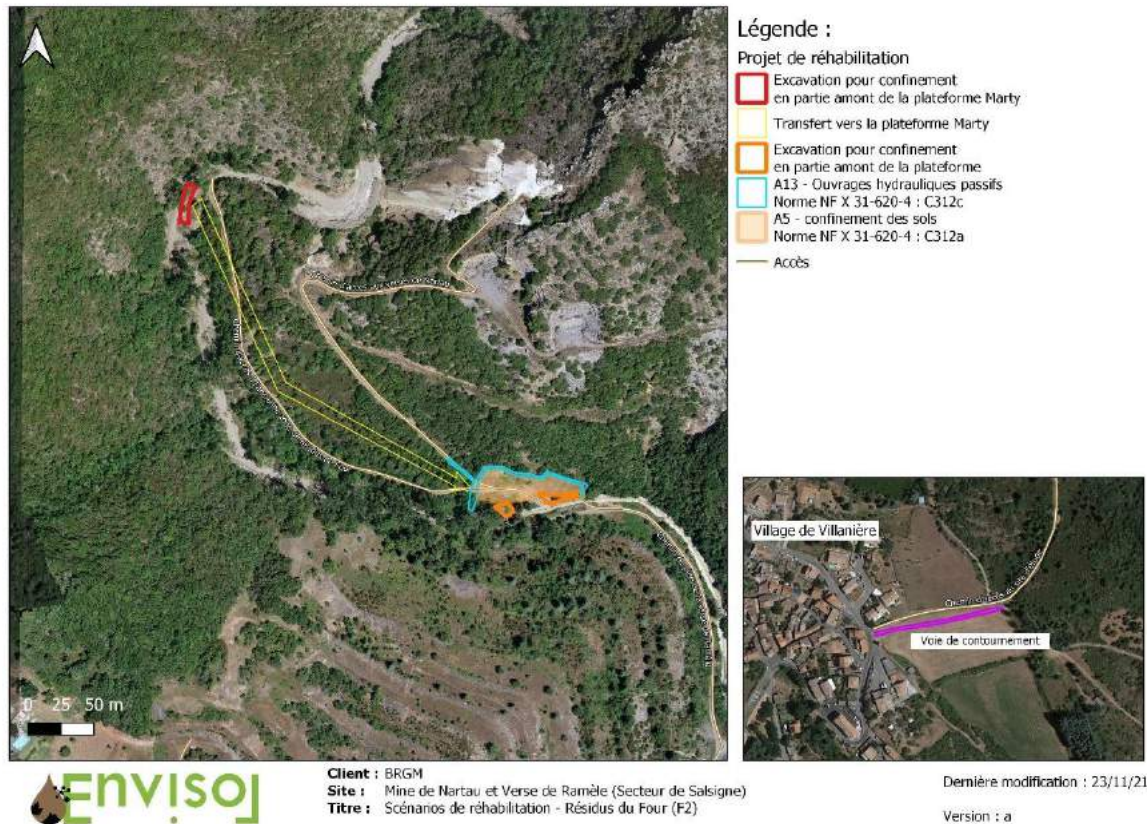


Figure 87. Scénario zone de résidus de four 2 : confinement

6.3.5 Grésillou

6.3.5.1 Scénario Grésillou 1 : seuils au niveau des sources primaires

Description

Ce scénario prévoit l'installation de seuils (ouvrages hydrauliques) dans le cours d'eau dans les sections droites entre chaque berge du Grésillou (A13) associée à la mise en place d'une à deux zones d'expansion de crue (A13). L'objectif de ce scénario est de réduire les vitesses d'écoulement du Grésillou lors d'événements pluvieux significatifs et exceptionnels tout en limitant l'apport de sédiments vers l'aval.

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

Sont prévus 4 seuils : en amont de Nartau, en aval de la zone de résidus de four, en amont de la verse Ramèle et en aval de la verse Ramèle. Les zones d'expansion de crue seront localisées au droit de la prairie en aval de Ramèle et au niveau de la zone de résidus de four si celle-ci est traitée. Ces emplacements de seuils sont en lien avec la nécessité de limiter la vitesse d'écoulement du Grésillou tout en favorisant le dépôt des fines et en limitant le charriage au niveau des sources primaires et secondaire de pollution.

Ces travaux prévoient la création d'accès au sein du cours d'eau.

La durée est estimée à 1 mois en saison sèche.



Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- une réduction du flux particulaire issus des zones sources lors d'un événement exceptionnel.

Contraintes

- demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- une étude hydraulique spécifique sera nécessaire pour dimensionner et localiser les seuils ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- Entretien par curage des seuils semestriel. Les sédiments récupérés seront évacués en filière adaptée ;

Coûts

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	3% des travaux	65 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Création de pistes	Forfait	150 000
Seuils (X4)	400000/seuil	1 600 000
Zone d'expansion de crue	Forfait	250 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	2 165 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	25 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	35 000

Plan

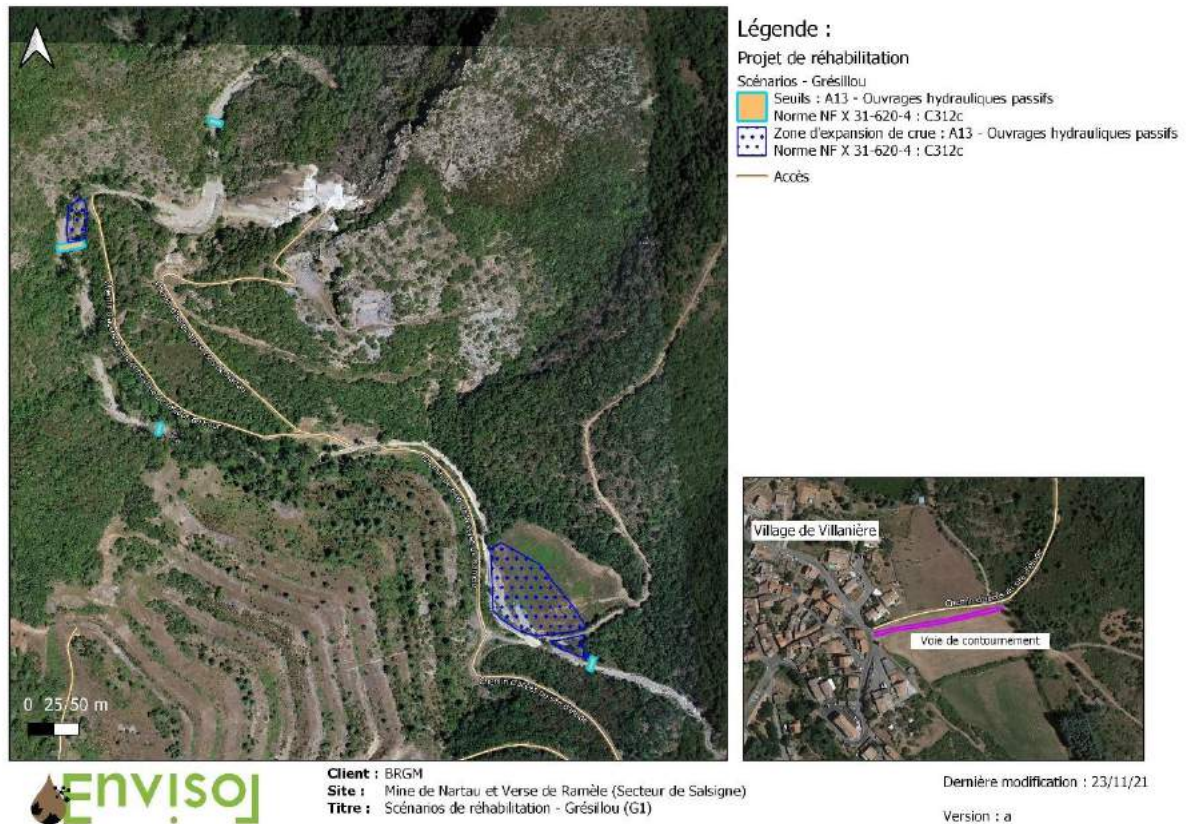


Figure 88. Scénario Grésillou 1 : seuils au niveau des sources primaires

6.3.5.2 Scénario Grésillou 2 : seuils jusqu'à la confluence avec l'Orbiel

Description

Ce scénario prévoit l'installation de seuils (ouvrages hydrauliques) dans le cours d'eau dans les sections droites entre chaque berge du Grésillou (A13) associée à la mise en place d'une à deux zones d'expansion de crue (A13). L'objectif de ce scénario est de réduire les vitesses d'écoulement du Grésillou lors d'événements pluvieux significatifs et exceptionnels tout en limitant l'apport de sédiments vers l'aval.

Ces travaux nécessiteront la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions.

Sont prévus 6 seuils : en amont de Nartau, en aval de la zone de résidus de four, en amont de la verse Ramèle, en aval de la verse Ramèle, en amont de la confluence Villanière, en aval de la confluence Villanière. Ces emplacements de seuils sont en lien avec la nécessité de limiter la vitesse d'écoulement du Grésillou tout en favorisant le dépôt des fines et en limitant le charriage au niveau des sources primaires et secondaire de pollution.

Les zones d'expansion de crue seront localisées au droit de la prairie en aval de Ramèle et au niveau de la zone de résidus de four si celle-ci est traitée.

Ces travaux prévoient la création d'accès au sein du cours d'eau.

La durée est estimée à 1 mois de saison sèche.



Objectifs

Une estimation des flux après application des techniques de réhabilitation a été réalisée. Un objectif de réduction des flux d'As vers l'Orbiel est visé.

- une réduction du flux particulaire issus des zones sources et des sédiments impactés en aval lors d'un événement exceptionnel ;
- l'ajout de seuils en aval de Ramèle permet également de réduire le flux particulaire lié aux sédiments impactés en aval ;

Contraintes

- demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- une étude hydraulique spécifique sera nécessaire pour dimensionner et localiser les seuils ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- Entretien par curage des seuils semestriel. Les sédiments récupérés seront évacués en filière adaptée ;

Cout

Désignation	Prix unitaire	Prix estimé HT (euros)
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	3% des travaux	85 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Forfait	100 000
Création de pistes	Forfait	175 000
Seuils (X6)	400000/seuil	2 400 000
Zone d'expansion de crue	Forfait	250 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	3 010 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	25 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	45 000

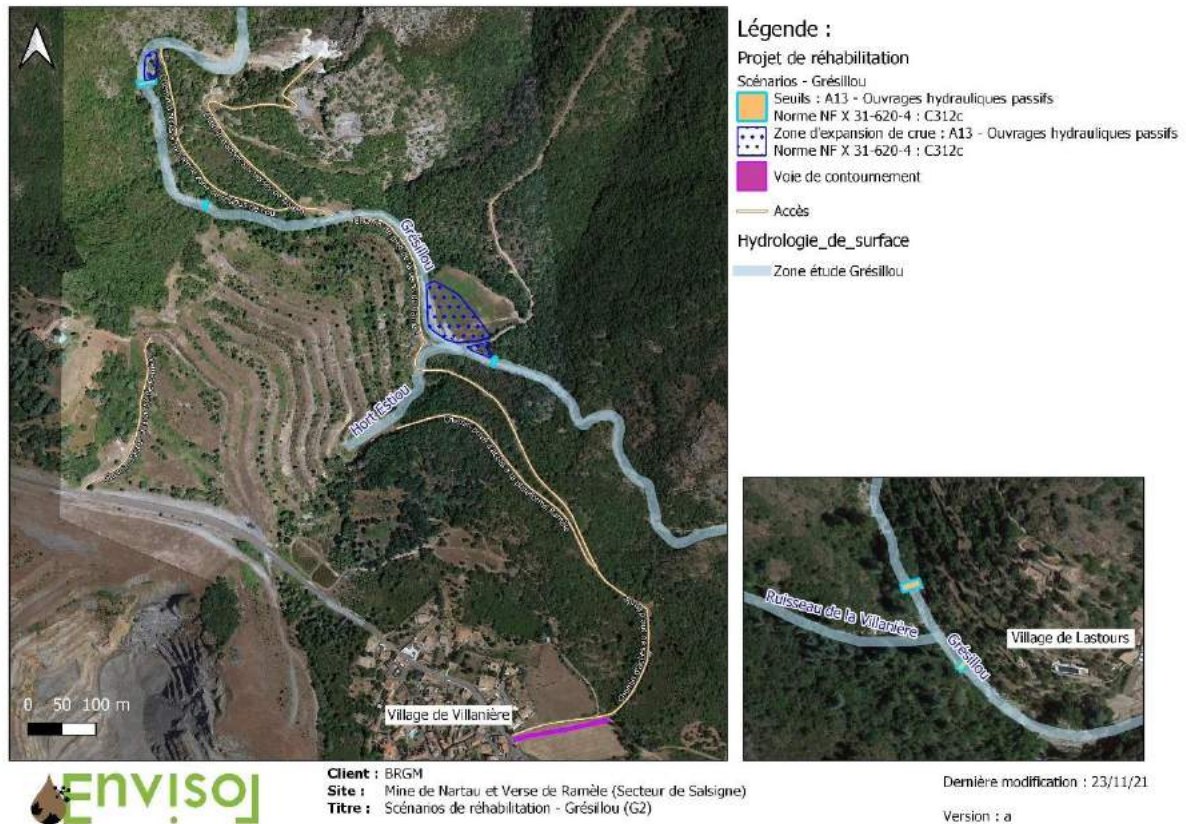


Figure 89. Scénario Grésillou 2 : seuils jusqu'à la confluence avec l'Orbiel

6.4 Présentation des scénarios l'échelle de la vallée du Grésillou

6.4.1 Construction des scénarios intégrés

Les scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou ont été construits sur la base des scénarios par zone afin d'envisager les meilleures solutions de réhabilitation permettant l'atteinte des objectifs visés et répondant aux connaissances actuelles sur les sources primaires et leur pollution associée approchée au cours du projet.

A des fins d'atteinte des objectifs globaux de réduction des transferts d'As particulaire et dissous au sein la vallée du Grésillou, plusieurs leviers d'action ont été identifiés :

- action sur la source par retrait du danger ;
- action sur la source par confinement ;
- action sur les voies de transfert ;

Les trois scénarios intégrés présentés, se veulent, pour chacun d'entre eux, équilibrés d'un point de vue de l'atteinte des objectifs mais différents en termes d'approche sur les leviers d'action envisagés.



La composition des trois scénarios est présentée dans le tableau ci-dessous. En plus du confinement de Nartau (N) et Ramèle (R), le scénario 1 se base sur le retrait des sources de la plateforme Marty et résidus de four pour une action forte sur les transferts d'As particulaire lors des crues. Le scénario 2 renforce les actions sur les transferts majeurs à la fois sur l'As dissous porté par Ramèle et particulaire en confinant les zones sensibles plateforme Marty (M) et résidus de four (F) et ajoutant des seuils dans le Grésillou (G). Le scénario 3 présente une stratégie hybride plus sécuritaire en agissant à la fois sur les sources et les voies de transfert en confinant toutes les sources et en ajoutant les seuils dans le Grésillou en amont et aval.



Tableau 15. Techniques de réhabilitation sélectionnées pour l'élaboration des scénarios intégrés du site d'étude

	Technique de réhabilitation non sélectionnée	Scénario intégré 1				Scénario intégré 2				Scénario intégré 3				
	Technique de réhabilitation sélectionnée	R2	N2	M1	F1	R2	M2	F2	G1	R2	N2	M2	F2	G2
	A1 - Excavation des sols avec évacuation vers filière													
	A2 - Excavation des sols avec évacuation et stockage au sein d'un confinement hors site													
	A5 – Confinement in situ/ex situ par géomembrane ou béton projeté	Partiel				Partiel				Partiel				
	A6 – Confinement par stabilisation in situ par soil mixing	Partiel				Partiel				Partiel				
	A11 - Correction de versant													
	A13 - Ouvrages hydrauliques passifs (ouvrage de gestion des eaux de ruissellement : transit et pièges à sédiments)													
	A15 - Confortement en pied de verse													



Les scénarios ont été comparés qualitativement vis à vis de l'atteinte des objectifs (tableau 17). La gestion des sources permet une plus forte diminution du flux dissous, point fort des scénarios 1 et 3. Les gestions des événements de crue est pris en compte de manière identique pour l'ensemble des scénarios à la fois par la gestion des sources et des voies de transferts. Les scénarios 2 et 3 présentent un avantage pour la réduction du flux particulaire par la mise en place de seuils dans le Grésillou.

Tableau 16. Comparaison des scénarios intégrés en termes de flux

	Scénario intégré 1	Scénario intégré 2	Scénario intégré 3
Verses de Nartau	Confinement source		Confinement source
Verse de Ramèle	Confinement source (partiel) + Voie de transfert	Confinement source (partiel) + Voie de transfert	Confinement source (partiel) + Voie de transfert
Plateforme Marty	Retrait de la source	Confinement source	Confinement source
Zone de résidus de fours	Retrait de la source	Confinement source	Confinement source
Grésillou		Voie de transfert	Voie de transfert
Flux dissous	+++	++	+++
Flux particulaire	+	++	+++
Gestion des événements exceptionnels	+++	+++	+++

Le détail des scénarios est présenté dans le chapitre suivant.

6.4.2 Scénario intégré 1 : R2, N2, M1, F1

Description

Ce scénario intégré à l'échelle de la vallée prévoit une action sur les sources primaires de pollution. Le choix du scénario N2 implique un déclenchement des scénarios M1 et F1 (retraits des matériaux de la zone de résidus de fours et de la plateforme Marty) car une plateforme de transit est nécessaire aux travaux de confinement de Nartau.

Les actions concernent en premier lieu :

- la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions ;
- l'excavation et l'évacuation hors site de l'ensemble des matériaux constitutifs de la zone de résidus de four (630 tonnes) et de la plateforme Marty (8 400 tonnes) (A1) ;
- sur la verse de Ramèle, la mise en place de gabions pour conforter et protéger le pied de verse en partie amont de la zone busée afin de protéger les matériaux mobilisables lors d'évènements exceptionnel (crue) dans le Grésillou (A15). Il est prévu un ouvrage de 160 m de longueur sur 3 à 4 m de hauteur ;



- sur la verse de Ramèle, la déviation des eaux ruissellement externes en amont de la verse par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés afin de limiter l'érosion, la lixiviation et le transport de l'As vers le Grésillou (A13). Il est envisagé de dévier les eaux de ruissellement externes par une ancienne piste de contournement de la MCO pour rejoindre le ruisseau de la Villanière. La longueur de l'ouvrage est estimée à 700 m linéaire. Ces travaux engendreront 21000 m³ de déblais qui seront utilisés pour le chantier puis envoyés en filières. Le scénario prévoit également une gestion des eaux de ruissellement internes par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés (A13) et de correction de versant au niveau des zones de ravinement pour limiter l'érosion (A11) ;
- la réalisation d'un diagnostic complémentaire sur l'ensemble de la verse de Ramèle et spécifiquement au niveau de l'ancienne zone d'impact cheminée. Ce diagnostic complémentaire doit être réalisé préalablement à toute action sur l'ancienne zone d'impact cheminée et pourra conduire à une mise à jour du scénario de gestion de la verse de Ramèle sur ce point ;
- selon le résultat du diagnostic complémentaire, l'ancienne zone d'impact cheminée pourra être traitée par confinement in situ soit par géomembrane (A5) soit par stabilisation par soil mixing (A6). La surface de la zone est estimée à 2000 m² sur une profondeur de 4 m. La création d'une piste d'accès sera réalisée en remblais avec notamment les matériaux générés lors de la déviation des eaux de ruissellement externes, afin de relier le haut de la zone cheminée au chemin existant en haut de verse. Pendant et après les travaux, la zone sera mise hors d'eau par un ouvrage hydraulique passif. Une gestion spécifique des eaux pluviales sera réalisée par d'une descente d'eau en rocher reliant le bas de la zone confinée au Grésillou.
- sur les verses de Nartau, la réalisation du confinement de la verse principale par géomembrane ou béton projeté et de la verse secondaire par béton projeté au vu de sa configuration, permettant ainsi d'isoler les sources de pollution (A5). Au total, la surface à confiner est estimée à 9200 m². La plateforme Marty servira alors de plateforme de stockage en transit.

Le projet prévoit un réaménagement paysager de la plateforme Marty excavée, des verses de Nartau et de l'ancienne zone d'impact cheminée confinées.

La durée potentielle de la mise en œuvre du scénario intégré et des travaux globaux est estimée à 5 ans.

Objectifs

- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total issus de Nartau et Ramèle (dissous et particulaire) ;
- un abattement envisagé de 100 % des flux d'As total issus de Plateforme Marty et Zone de résidus de four (dissous et particulaire) ;
- pour le scénario intégré, une réduction estimée de 90% du flux d'As total dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.
- pour le scénario intégré, une réduction du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle.



Contraintes

- demande d'autorisation AOT et demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- les travaux sur les accès induisent une utilisation du foncier privé qui engendre des demandes administratives d'occupation sur Nartau et Ramèle ;
- l'excavation et le reprofilage des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.
- N2 : la forte pente de Nartau (supérieure à 35°) implique des conditions d'intervention particulière : protection en travail acrobatique ;
- N2, R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse qui requièrent des caractéristiques physiques de la géomembranes particuliers et des dimensionnements spécifiques ;
- N2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse pour le béton projeté nécessitant un ancrage obligatoire dans le sol en place sous la verse. Elles seront associées à des dimensionnements et formulations spécifiques ;
- R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse pour la réalisation du soil mixing nécessite des dimensionnements et formulations spécifiques ;

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- en terme de surveillance, une vérification semestrielle ainsi que lors d'évènements pluvieux significatifs et exceptionnels est à prévoir pour les gabions en pied de verse de Ramèle, les ouvrages de confinement des verses de Nartau et de Ramèle et les ouvrages passifs hydrauliques ;
- la pérennité des ouvrages de confinement est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane et à 50-60 ans pour le béton et soil mixing ;
- l'incertitude sur l'épaisseur des verses de Nartau permettant les ancrages du confinement ;
- l'incertitude forte sur la contribution des impacts de surface sur la verse de Ramèle quantifiés vis-à-vis de la verse entière et des potentiels impacts en profondeur. Il est recommandé de réduire ces incertitudes avant d'engager les travaux sur les zones d'impact.
- l'incertitude sur la destination des matériaux pouvant influencer les coûts de transport des terres polluées.



Coûts			
Désignation	Prix unitaire	N2 (géomembrane + béton), R2, M1, F1	N2 (béton), R2, M1, F1
MOE et dossiers réglementaires, préparation de chantier			
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	(Forfait environ 4%)	275 000	275 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Mutualisation scénarios	100 000	100 000
Travaux d'accès - reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Mutualisation scénarios	725 000	725 000
Diagnostic complémentaire de Ramèle	Forfait	250 000	250 000
Confinement N2 et R2			
Reprofilage pour béton projeté	Forfait	100 000	100 000
Installation du chantier pour béton projeté	Forfait	100 000	100 000
Travaux de confinement béton projeté	250 euros/m ³	500 000 (verses secondaires)	2 300 000 (principal et secondaire)
Travaux de confinement par géomembrane	Somme R2 + N2	1 210 000	260 000
Excavation M1, F1, R2			
Travaux d'excavation	Somme scénario	86 000	86 000
Transport (80 km) et traitement en filière	Somme scénario	2 940 000	2 940 000
Travaux de réaménagement			
Travaux de réaménagement	Mutualisation scénarios	200 000	200 000
Confortement de pied de verse de Ramèle et gestion des eaux (internes et externes) hors ancienne zone impact cheminée			
Gabions pied de verse	Forfait	360 000	360 000
Gestion des eaux de ruissellement externes	50 euros/ml	35 000	35 000
Gestion des eaux internes (ouvrage et correction versant)	Forfait	150 000	150 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	7 031 000	7 881 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Mutualisation scénarios	400 000	400 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Mutualisation scénarios	20 000	20 000

Plan

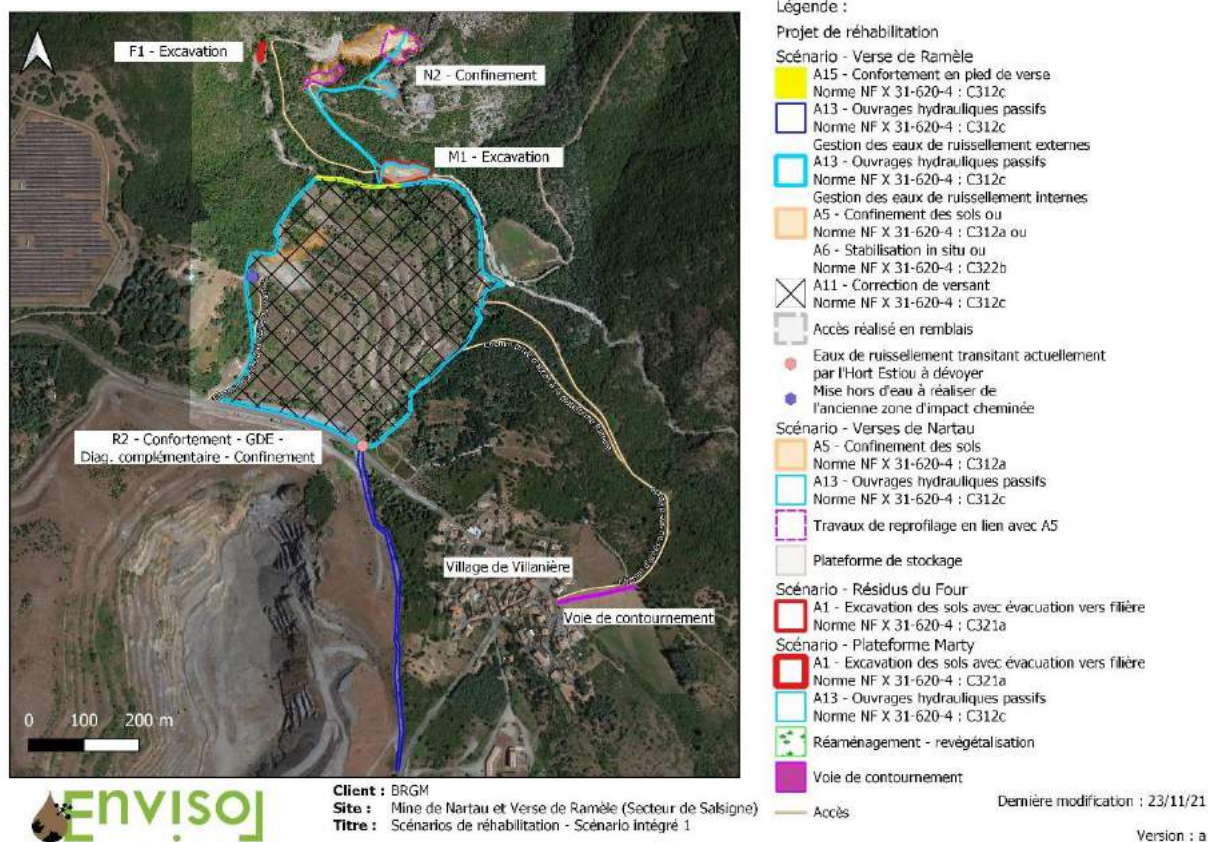


Figure 90. Scénario intégré 1 : excavation de la plateforme Marty et résidus du four, confortement du pied de verse de Ramèle et gestion des eaux de ruissellement, confinement des verses de Nartau et de l'ancienne zone d'impact cheminée



6.4.3 Scénario intégré 2 : R2, M2, F2, G1

Description

Ce scénario intégré à l'échelle de la vallée prévoit une action sur les sources primaires de pollution à l'exception de Nartau et la source secondaire le Grésillou. La gestion des flux est orientée vers la réduction des flux particuliers lorsqu'il est augmenté lors d'événements exceptionnels.

Les actions concernent en premier lieu :

- la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions ;
- l'installation de 4 seuils (ouvrages hydrauliques) dans le cours d'eau dans les sections droites entre chaque berge du Grésillou (A13) associée à la mise en place une à deux zones d'expansion de crue (A13). L'objectif de ce scénario est de réduire les vitesses d'écoulement du Grésillou lors d'événements pluvieux significatifs et exceptionnels tout en limitant l'apport de sédiments vers l'aval ;
- l'excavation de la zone de résidus de four et confinement de celle-ci sur le haut de la plateforme Marty par géomembrane (A5). Le volume moyen de matériaux à excaver est estimé à 300 m³ ;
- l'excavation de la zone inondable de la plateforme Marty et confinement de celle-ci sur le haut de la plateforme par géomembrane (A5) avec un confortement en bordure aval. Le volume moyen de matériaux à déplacer hors zone inondable est estimé à 1300 m³ sur une surface 1300 m² et un volume total à confiner est de 4000 m³ sur une surface de 2000 m² ;
- sur la verse de Ramèle, la mise en place de Gabions pour conforter et protéger le pied de verse en partie amont de la zone busée afin de protéger les matériaux mobilisables lors d'événements exceptionnel (crue) dans le Grésillou (A15). Il est prévu un ouvrage de 160 m de longueur sur 3 à 4 m de hauteur ;
- sur la verse de Ramèle, la déviation des eaux ruissellement externes en amont de la verse par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés afin de limiter l'érosion, la lixiviation et le transport de l'As vers le Grésillou (A13). Il est envisagé de dévier les eaux de ruissellement externes par une ancienne piste de contournement de la MCO pour rejoindre le ruisseau de la Villanière. La longueur de l'ouvrage est estimée à 700 m linéaire. Ces travaux engendreront 21000 m³ de déblais qui seront utilisés pour le chantier puis envoyés en filières. Le scénario prévoit également une gestion des eaux de ruissellement internes par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés (A13) et de correction de versant au niveau des zones de ravinement pour limiter l'érosion (A11) ;
- la réalisation d'un diagnostic complémentaire sur la verse de Ramèle et spécifiquement au niveau de l'ancienne zone d'impact cheminée. Ce diagnostic complémentaire doit être réalisé préalablement à toute action sur l'ancienne zone d'impact cheminée ;
- en dernière étape, l'ancienne zone d'impact cheminée pourra être traitée par confinement in situ soit par géomembrane (A5) soit par stabilisation par soil mixing (A6). La surface de la zone est estimée à 2000 m² sur une profondeur de 4 m. La création d'une piste d'accès sera réalisée en remblais avec notamment les matériaux générés lors de la déviation des eaux de ruissellement externes, afin de relier le haut de la zone cheminée au chemin existant en haut de verse. Pendant et après les travaux, la zone sera mise hors d'eau par un ouvrage hydraulique passif. Une gestion spécifique des eaux pluviales sera réalisée par d'une descente d'eau en rocher reliant le bas de la zone confinée au Grésillou.



Le projet prévoit un réaménagement paysager de la plateforme Marty et de l'ancienne zone d'impact cheminée confinées.

La durée potentielle de la mise en œuvre du scénario intégré et des travaux globaux est estimée à 5 ans.

Objectifs

- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total Ramèle (dissous et particulaire) ;
- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total issus de Plateforme Marty et Zone de résidus de four (dissous et particulaire) ;
- pour le scénario intégré, une réduction estimée de 70% du flux d'As total soit un flux résiduel de 30% dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.
- Pour le scénario intégré, une réduction du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle.

Contraintes

- demande d'autorisation AOT et demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- les travaux sur les accès induisent une utilisation du foncier privé et engendrent des demandes administratives d'occupation ;
- R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse qui requièrent des caractéristiques physiques de la géomembranes particuliers et des dimensionnements spécifiques ;
- R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse pour la réalisation du soil mixing nécessitent des dimensionnements et formulations spécifiques ;
- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- en terme de surveillance, une vérification semestrielle ainsi que lors d'événements pluvieux significatifs et exceptionnels est à prévoir pour les gabions en pied de verse de Ramèle, les ouvrages de confinement de Ramèle et les ouvrages passifs hydrauliques ;
- la pérennité des ouvrages de confinement est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane et à 50-60 ans pour le soil mixing ;
- l'incertitude forte sur la contribution des impacts de surface sur la verse de Ramèle quantifiés vis-à-vis de la verse entière et des potentiels impacts en profondeur. Il est recommandé de combler ces incertitudes avant d'engager les travaux sur les zones d'impact.
- Entretien par curage des seuils semestriel. Les sédiments récupérés seront évacués en filière adaptée.



Coûts

Désignation	Prix unitaire	R2, M2, F2, G1
MOE et dossiers réglementaires, préparation de chantier		
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	Somme scénarios	280 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Mutualisation scénarios	100 000
Travaux d'accès - reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Mutualisation scénarios	750 000
Diagnostic complémentaire de Ramèle	Forfait	250 000
Confinement		
Travaux de confinement par géomembrane	Somme R2 + M2+F2	480 000
Excavation		
Travaux d'excavation F2	F2	32 000
Transport (80 km) et traitement en filière (R2 déblais de la déviation des eaux de ruissellement externes)	Somme scénario	630 000
Travaux de réaménagement		
Travaux de réaménagement à la suite du confinement	Forfait	150 000
Confortement de pied de verse de Ramèle et gestion des eaux (internes et externes) hors ancienne zone impact cheminée		
Gabions pied de verse	Forfait	360 000
Gestion des eaux de ruissellement externes	50 euros/ml	35 000
Gestion des eaux internes (ouvrage et correction versant)	Forfait	150 000
Seuils dans le Grésillou		
Seuils (X4)	400000/seuil	1 600 000
Zone d'expansion de crue	Forfait	250 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	5 067 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	400 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	60 000

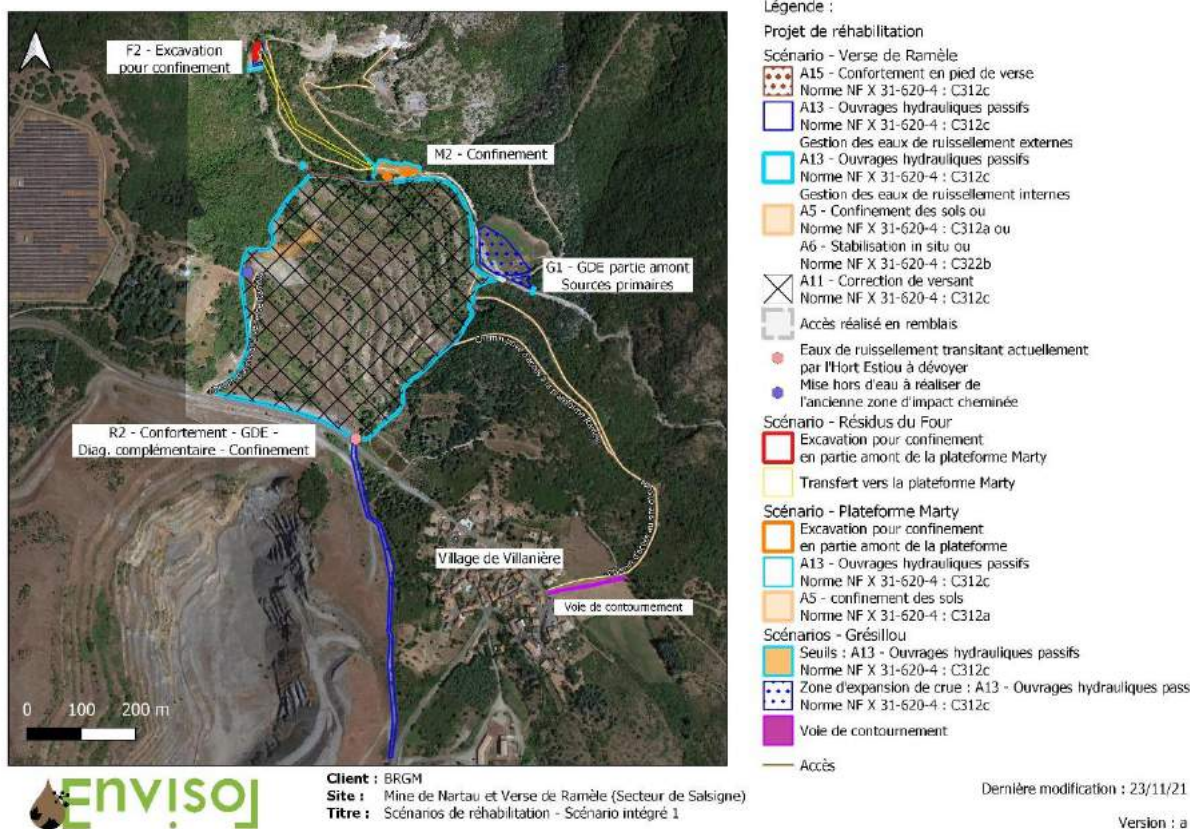


Figure 91. Scénario intégré 2 : mise en place des seuils et zones d'expansion de crue dans le Grésillou, confortement du pied de vers de Ramèle et gestion des eaux de ruissellement, excavation de la zone de résidus du Four vers Marty avec confinement de la plateforme Marty et confortement de partie basse, confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée

6.4.4 Scénario intégré 3 : R2, N2, M2, F2, G2

Description

Ce scénario intégré à l'échelle de la vallée prévoit une action sur toutes les sources primaires de pollution et la source secondaire le Grésillou. La gestion des flux est orientée vers la réduction des flux particuliers lorsqu'il est augmenté lors d'événements exceptionnels en provenance des zones sources mais aussi des sédiments et paléo-sédiments présents en aval des zones.

Les actions concernent en premier lieu :

- la création d'une voie de contournement permettant l'accès à la zone d'étude depuis le village de Villanière par des camions ;
- l'installation de 6 seuils (ouvrages hydrauliques) dans le cours d'eau dans les sections droites entre chaque berge du Grésillou (A13) associé à la mise en place une à deux zones d'expansion de crue (A13). L'objectif de ce scénario est de réduire les vitesses d'écoulement du Grésillou lors d'événements pluvieux significatifs et exceptionnels tout en limitant l'apport de sédiments vers l'aval.



- l'excavation de la zone de résidus de four et confinement de celle-ci sur le haut de la plateforme Marty par géomembrane (A5). Le volume moyen de matériaux à excaver est estimé à 300 m³ ;
- l'excavation de la zone inondable de la plateforme Marty et confinement de celle-ci sur le haut de la plateforme par géomembrane (A5), avec un confortement en bordure aval. Le volume moyen de matériaux à déplacer hors zone inondable est estimé à 1300 m³ sur une surface 1300 m² et un volume total à confiner est de 4000 m³ sur une surface de 2000 m² ;
- sur les verses de Nartau, la réalisation du confinement de la verse principale par géomembrane ou béton projeté et de la verse secondaire par béton projeté au vu de sa configuration, permettant ainsi d'isoler les sources de pollution (A5). Au total, la surface à confiner est estimée à 9200 m². Ceci nécessitera l'évacuation de Marty au préalable ou a minima des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente. Une étude de faisabilité plus aboutie, pourrait éventuellement venir apporter des solutions techniques permettant de limiter au maximum les évacuations préalables nécessaires (plateforme Marty) et ainsi permettre un confinement d'une partie des matériaux de la plateforme dans un contexte de travaux sur les verses de Nartau.
- sur la verse de Ramèle, la mise en place de Gabions pour conforter et protéger le pied de verse en partie amont de la zone busée afin de protéger les matériaux mobilisables lors d'évènements exceptionnel (crue) dans le Grésillou (A15). Il est prévu un ouvrage de 160 m de longueur sur 3 à 4 m de hauteur ;
- sur la verse de Ramèle, la déviation des eaux ruissellement externes en amont de la verse par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés afin de limiter l'érosion, la lixiviation et le transport de l'As vers le Grésillou (A13). Il est envisagé de dévier les eaux de ruissellement externes par une ancienne piste de contournement de la MCO pour rejoindre le ruisseau de la Villanière. La longueur de l'ouvrage est estimée à 700 m linéaire. Ces travaux engendreront 21000 m³ de déblais qui seront utilisés pour le chantier puis envoyés en filières. Le scénario prévoit également une gestion des eaux de ruissellement internes par la mise en place d'ouvrages hydrauliques passifs étanchéifiés (A13) et de correction de versant au niveau des zones de ravinement pour limiter l'érosion (A11) ;
- la réalisation d'un diagnostic complémentaire sur la verse de Ramèle et spécifiquement au niveau de l'ancienne zone d'impact cheminée. Ce diagnostic complémentaire doit être réalisé préalablement à toute action sur l'ancienne zone d'impact cheminée ;
- en dernière étape, l'ancienne zone d'impact cheminée pourra être traitée par confinement in situ soit par géomembrane (A5) soit par stabilisation par soil mixing (A6). La surface de la zone est estimée à 2000 m² sur une profondeur de 4 m. La création d'une piste d'accès sera réalisée en remblais avec notamment les matériaux générés lors de la déviation des eaux de ruissellement externe, afin de relier le haut de la zone cheminée au chemin existant en haut de verse. Pendant et après les travaux, la zone sera mise hors d'eau par un ouvrage hydraulique passif. Une gestion spécifique des eaux pluviales sera réalisée par d'une descente d'eau en rocher reliant le bas de la zone confinée au Grésillou.

Le projet prévoit un réaménagement paysager de la plateforme Marty et de l'ancienne zone d'impact cheminée confinées.

La durée potentielle de la mise en œuvre du scénario intégré et des travaux globaux est estimé à 5 ans.



Objectifs

- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total Ramèle (dissous et particulaire) ;
- un abattement envisagé de 90 % des flux d'As total issus de Plateforme Marty et Zone de résidus de four (dissous et particulaire) ;
- pour le scénario intégré, une réduction estimée de 70% du flux d'As total soit un flux résiduel de 30% dans le cas d'une pluie significative à l'échelle de la vallée.
- Pour le scénario intégré, une réduction du flux particulaire dans le cas d'une pluie exceptionnelle.

Contraintes

- demande d'autorisation AOT et demande d'accès d'occupation du cours d'eau, IOTA (titre III – impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique – Rubriques 3.1.1.0 à 3.2.3.0) au syndicat de gestion (Syndicat Mixte Aude Centre) ;
- les travaux sur les accès induisent une utilisation du foncier privé et engendrent des demandes administratives d'occupation ;
- R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse pour la réalisation du soil mixing nécessitent des dimensionnements et formulations spécifiques ;
- N2, R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse qui requièrent des caractéristiques physiques de la géomembranes particuliers et des dimensionnements spécifiques ;
- N2 : la forte pente de Nartau (supérieure à 35°) implique des conditions d'intervention particulière : protection en travail acrobatique ;
- N2, R2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse qui requièrent des caractéristiques physiques de la géomembranes particuliers et des dimensionnements spécifiques ;
- N2 : les contraintes liées à la géométrie de la verse pour le béton projeté nécessitant un ancrage obligatoire dans le sol en place sous la verse. Elles seront associées à des dimensionnements et formulations spécifiques ;
- l'excavation des matériaux impactés en As implique également la réalisation du chantier sous conditions spécifiques : travail avec des engins en cabines pressurisées, brumisation du chantier pour limiter les nuisances (envol de poussières), EPI adaptés ;
- les travaux sont soumis à autorisation par les services de la commune de Villanière et services de l'état pour permettre l'accès au site par les engins de 30 tonnes. Les accès au site d'étude prévoient également la création d'une route de déviation avec un PTAC limite de 32 tonnes.

Impacts (surveillance, entretien) et incertitudes

- en terme de surveillance, une vérification semestrielle ainsi que lors d'événements pluvieux significatifs et exceptionnels est à prévoir pour les gabions en pied de verse de Ramèle, les ouvrages de confinement de Ramèle et les ouvrages passifs hydrauliques ;
- la pérennité des ouvrages de confinement est estimée à 20-30 ans pour la géomembrane et à 50-60 ans pour le soil mixing ;



- l'incertitude forte sur la contribution des impacts de surface sur la verse de Ramèle quantifiés vis-à-vis de la verse entière et des potentiels impacts en profondeur. Il est recommandé de combler ces incertitudes avant d'engager les travaux sur les zones d'impact.
- l'incertitude sur l'épaisseur des verses de Nartau permettant les ancrages du confinement ;
- Entretien par curage des seuils semestriel. Les sédiments récupérés seront évacués en filière adaptée.

Coûts

Désignation	Prix unitaire	R2, N2, M2, F2, G2	R2, N2 (béton), M2, F2, G2
MOE et dossiers réglementaires, préparation de chantier			
Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires	Forfait (6% environ)	450 000	450 000
Création de la piste de contournement au niveau du village de Villanière	Mutualisation scénarios	100 000	100 000
Travaux d'accès - reprise de piste et ouvrages de gestion des eaux	Mutualisation scénarios	850 000	850 000
Diagnostic complémentaire de Ramèle	Forfait	250 000	250 000
Confinement N2, R2, F2, M2			
Reprofilage pour béton projeté	Forfait	100 000	100 000
Installation du chantier pour béton projeté	Forfait	100 000	100 000
Travaux de confinement béton projeté	250 euros/m ³	500 000 (verses secondaires)	2 300 000 (principal et secondaire)
Travaux de confinement par géomembrane	Somme scénarios	1 430 000	480 000
Excavation			
Travaux d'excavation F2, M2	Somme scénarios	32 000	32 000
Transport (80 km) et traitement en filière (N2, R2 déblais de la déviation des eaux de ruissellement externes)	Somme scénario	680 000	680 000
Travaux de réaménagement			
Travaux de réaménagement à la suite du confinement	Forfait	300 000	300 000



Confortement de pied de verse de Ramèle et gestion des eaux (internes et externes) hors ancienne zone impact cheminée			
Gabions pied de verse	Forfait	360 000	360 000
Gestion des eaux de ruissellement externes	50 euros/ml	35 000	35 000
Gestion des eaux internes (ouvrage et correction versant)	Forfait	150 000	150 000
Seuils dans le Grésillou			
Seuils (X6)	400000/seuil	2 400 000	2 400 000
Zone d'expansion de crue	Forfait	250 000	250 000
Enveloppe budgétaire technique et opérationnelle	SOUS-TOTAL	8 012 000	8 862 000
Enveloppe budgétaire de prévention/sécurité des travailleurs	Forfait	400 000	400 000
Enveloppe budgétaire de suivi et entretiens ultérieurs	Forfait annuel	80 000	80 000



Figure 92. Scénario intégré 3 : mise en place des seuils et zones d'expansion de crue dans le Grésillou, confortement du pied de verse de Ramèle et gestion des eaux de ruissellement, confinement de la verse de Nartau, excavation de la zone de résidus du Four vers Marty avec confinement de la plateforme Marty et confortement de partie basse, confinement de l'ancienne zone d'impact cheminée de Ramèle.

6.4.5 Mesures complémentaires

En sus des restrictions d'usages énoncées au paragraphe 3.4, les restrictions d'accès aux galeries (ouvrages débouchant au jour) et aux verses dans leur globalité sont maintenues (panneaux signalant un accès interdit au public). Ces restrictions devront être associées à un suivi sanitaire des produits de la chasse (gibier) et des végétaux autoproduits au sein de la vallée de l'Orbiel (zone de crue).

Un suivi environnemental à l'échelle de la vallée devra être poursuivi (eaux superficielles et sédiments).



7 BILAN COUTS-AVANTAGES

7.1 Choix et définition des critères de comparaison

La mise en œuvre d'un Bilan Coûts-Avantages (BCA) demeure spécifique au cas rencontré et notamment aux milieux reconnus comme étant impactés et des enjeux associés. Il est établi, conformément au guide ADEME/UPDS (2017) – Elaboration des bilans coûts-avantages aux contextes de gestion des sites et sols pollués, dans une perspective de développement durable et répond au principe de proportionnalité. Dans le cas présent et compte tenu de la particularité de l'étude réalisée (sources multiples, hétérogénéités spatiales et temporelles...), les scénarios de gestion préétablis ont été comparés en tenant compte des 3 familles de critères suivants :

- Critères techniques et organisationnels,

Ces critères abordent les sujets pratiques et opérationnels de la gestion des zones d'intérêts. Ils intègrent les notions associées à l'ensemble du schéma conceptuel (maturité des techniques et contraintes, atteinte des objectifs, stratégie de dépollution dans le temps...). Aussi, c'est à ce stade que l'on compare les scénarios en termes de performance associée à l'objectif visé, à savoir la réduction des flux en As notamment en direction du Grésillou ;

- Critères Environnement, Hygiène, Sécurité,

Ces critères permettent d'intégrer au bilan coûts-avantages les impacts environnementaux (consommation de CO₂, d'énergie, biodiversité, pollution résiduelle...), les risques associés à la mise en œuvre des mesures de gestion présélectionnées (exposition des travailleurs, des riverains, transport...) ainsi que les nuisances associées au chantier ;

- Critères économiques,

Les critères économiques traitent des coûts estimatifs (sous forme de fourchettes de prix) d'exécution des mesures de gestion présélectionnées (travaux, maintenance, sécurité du coût...).

Les critères socio-politiques (hors nuisances) et juridiques / normatifs / réglementaires n'ont pas été retenus à ce stade afin de répondre à un objectif de réponse technique et opérationnelle aux enjeux induits par la situation environnementale de la vallée du Grésillou.

Les sous critères et leur définition sont présentés par familles au sein des tableaux en pages suivantes.



Tableau 17. Sous critères techniques et organisationnels

Famille de critères	
Techniques et organisationnels	
Sous-critère	Définition
	Questions clés
Maturité des techniques utilisées	Ce sous-critère a pour objectif de noter la faisabilité et la maturité des différentes techniques du scénario.
	<p><i>Le scénario envisagé a-t-il déjà été éprouvé sur des sites similaires ?</i></p> <p><i>Des tests de faisabilité / traitabilité sont-ils disponibles pour ces techniques ?</i></p>
Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	Ce sous-critère a pour objectif de noter la performance des différents scénarios en termes d'atteinte d'objectifs et notamment de réductions des flux pour les cibles potentielles (vallées du Grésillou puis de l'Orbiel)
	<p><i>Le scénario permet-il d'agir de manière efficace sur la source / zone d'intérêt ?</i></p> <p><i>La mise en œuvre du scénario agit-il positivement sur l'émission de substances polluantes / flux de polluants ?</i></p>
Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement	Ce sous-critère a pour objectif de noter la contrainte du scénario, liée à la durée prévisionnelle de mise en œuvre pour l'atteinte des objectifs.
	<p><i>Des études complémentaires sont-elles nécessaires pour envisager le scénario étudié ?</i></p> <p><i>Le scénario présente-t-il des contraintes en termes de durée prévisionnelle pour l'atteinte des objectifs ?</i></p> <p><i>La mise en œuvre du scénario de gestion est-il soumis à des contraintes de délais ?</i></p>
Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	Ce sous-critère a pour objectif de noter la nécessité de maintien sur le secteur d'unité ou d'installations liées à la mesure de gestion en place et/ou à la mise en place d'un suivi périodique des ouvrages.
	<p><i>Le scénario de gestion envisagé nécessite-t-il l'implantation d'installations sur le long terme associée à un suivi et des actions de maintenance ?</i></p>
Incertitudes résiduelles	Ce sous-critère a pour objectif d'évaluer l'impact d'éventuelles incertitudes résiduelles techniques et organisationnelles (atteinte des objectifs, faisabilité, risques résiduels...).
	<p><i>Dispose-t-on de données suffisantes et exhaustives sur la caractérisation de la zone d'intérêt ?</i></p> <p><i>Certaines conditions de faisabilité doivent-elle encore être levées ?</i></p> <p><i>Le scénario de gestion permet-il de façon certaine d'atteindre l'objectif visé de réduction des flux (seul objectif à atteindre) ?</i></p>



Tableau 18. Sous critères environnement, hygiène et sécurité

Famille de critères Environnement, hygiène et sécurité	
Sous-critère	Définition
	Questions clés
Augmentation du trafic routier / consommation énergétique et émissions GES	Ce sous-critère a pour objectif de noter le scénario vis-à-vis de l'augmentation du trafic routier et de l'émission de gaz à effet de serre.
	<i>La mise en œuvre du scénario génère-t-il une augmentation du trafic routier et des émissions de gaz à effet de serre ?</i> <i>Quelle est la consommation énergétique prévisionnelle ?</i>
Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	Ce sous-critère a pour objectif de noter le scénario vis-à-vis des risques HSE spécifiques liés au chantier de réhabilitation.
	<i>Le scénario présente-t-il des risques HSE en lien avec la manipulation de substances polluantes ?</i> <i>Le scénario présente-t-il un risque de remobilisation des polluants ?</i> <i>Les mesures de protection à mettre œuvre sont-elles contraignantes ?</i>
Nuisances générées	Ce sous-critère a pour objectif de noter le scénario vis-à-vis des nuisances au voisinage potentiellement générées par le chantier.
	<i>La mise en œuvre du scénario va-t-il engendrer des nuisances pour les riverains ?</i> <i>Si oui, de quelles natures seront ces nuisances et sur quelle durée et selon quelle intensité seront exposés les riverains ?</i>
Déchets générés	Ce sous-critère a pour objectif de noter le scénario vis-à-vis des déchets qui seront produits.
	<i>Le scénario étudié génère-t-il des déchets en phases de travaux et/ou de fonctionnement ?</i>



Tableau 19. Sous critères économiques

Famille de critères Economiques	
Sous-critère	Définition
	Questions clés
Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement*	Ce sous-critère a pour objectif de noter le coût de mise en œuvre du scénario (essais préalables, investissement, fonctionnement).
	<i>Le coût de l'ensemble des mesures de gestion est-il compétitif ?</i> <i>Le coût est-il réductible ?</i>
Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	Ce sous-critère a pour objectif de noter le coût lié à la mise en place spécifique de mesures de sécurité compte-tenu des risques chimiques des polluants (élaboration de procédures, rallongement de chantier, protections des travailleurs spécifiques).
	<i>Quel est le coût estimé de la gestion des problématiques de sécurité ?</i>
Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	Ce sous-critère a pour objectif de noter d'éventuels coûts liés à des opérations de surveillance ou d'entretiens ultérieurs.
	<i>La technique étudiée engendre-t-elle des coûts supplémentaires de surveillance et/ou d'entretien ultérieurs ?</i> <i>Si oui, ces coûts sont-ils réductibles ou sujet à aléa ?</i>
Incertitudes résiduelles	Ce sous-critère a pour objectif de noter les possibilités de dérives financières liées à la méthode.
	<i>La technique étudiée présente-t-elle un risque de dérive financière ?</i>

7.2 Méthodologie de notation

La notation a été réalisée de la manière suivante : une note entre -5 et +5 est attribuée selon l'impact du scénario préétabli vis-à-vis de chaque sous-critère défini précédemment.

Il s'agit de comparer entre eux les scénarios d'une zone d'intérêt donnée. Chaque sous critère est noté par rapport à un scénario de la même zone d'intérêt et ne peut être comparé à la notation attribuée pour ce même critère à une autre zone d'intérêt. Il s'agit d'un jugement d'expert établi de manière proportionnée sur les différences constatées entre les 2 scénarios étudiés.

Les valeurs négatives s'appliquent lorsque le scénario présente une contrainte, un impact négatif ou un désavantage plus ou moins important (exemple : le maintien d'une surveillance ultérieure à la mise en œuvre des mesures).

Les valeurs positives s'appliquent lorsque le scénario présente un avantage et donc un impact positif avec 5 comme meilleure note attribuée (exemple : l'excavation de terres polluées permet de retirer une partie ou l'ensemble de la source de pollution ce qui permet d'atteindre les objectifs visés).

Le 0 constitue une note neutre pour laquelle le critère appliqué n'est pas concerné.

L'attribution de ces notes (nombres entiers) à chaque sous-critère permet de calculer la moyenne de chaque famille de critère (nombre décimal).



Tous les sous-critères ont un poids unitaire dans le calcul de la moyenne. Le calcul des moyennes est privilégié pour homogénéiser les critères entre eux et permettre à la note d'une famille de critère de ne pas dépendre du nombre de sous-critère qu'elle contient.

Une moyenne générale est ensuite attribuée à chaque scénario sur la base des 3 notes attribuées à chaque famille de critère, sans application de pondération.

Il est à noter qu'aucune pondération n'a été appliquée, les familles de critères présentant un poids égal.

7.3 Résultats des Bilan Coûts-Avantages des scénarios envisagés par zone d'intérêt

Les tableaux en pages suivantes présentent les résultats du BCA pour chaque zone d'intérêt étudiée.

A l'issue de chaque BCA, les scorings obtenus sont discutés notamment à la lumière de chaque famille de critères. Au regard de la stratégie de notation, les meilleures notations au global sur un scénario approchent une note neutre (égale ou proche de 0).



7.3.1 Verses de Nartau

Tableau 20. BCA - Verses de Nartau

VERSES DE NARTAU					
Critères	Sous-critères	Scénario N1 : retrait de la source de pollution (verses principale et secondaires) et réaménagement partiel		Scénario N2 : Confinement des verses	
		Excavation des résidus des verses avec évacuation vers filière(s) puis réaménagement en réalisant sur le versant naturel des corrections de versant et de la revégétalisation - A1 Gestion des eaux de ruissellement par ouvrages hydrauliques passifs le long des pistes - A13		Confinement in situ par couverture (verses principale et secondaires) et étanchéification par géomembrane et/ou béton projeté nécessitant un reprofilage partiel des verses - A5 Gestion des eaux de ruissellement par ouvrages hydrauliques passifs le long des pistes - A13	
Technique et organisationnel	Données d'entrée	Volume de résidus estimé à 12 000 m ³ (25 000 tonnes)		Recouvrement d'une surface de 9200 m ²	
	Maturité des techniques utilisées	5	Technique maîtrisée et filière existante	5	Technique maîtrisée
	Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	5	100 % de réduction des flux par traitement complet de la source de pollution. Performance optimale	4	Conservation de la source avec réduction des flux estimé à 90 %. Bonne performance attendue.
	Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement et des travaux	4	Traitement définitif. Durée du traitement limitée à 2 saisons météorologiques sèches	3	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour la géomembrane et 30 à 60 pour le béton projeté
	Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	0	Retrait total de la source	-1	Maintenance limitée notamment en cas de mise en place d'une géomembrane. Ouvrages maintenus en place
	Incertitudes résiduelles	0	Retrait total de la source	-1	Performance de l'ouvrage et durabilité.
Scoring critères techniques et organisationnels		2,80		2,00	
Environnement, Hygiène, Sécurité	Augmentation du trafic routier / consommation énergétique (bilan carbone) et émissions GES	-5	Forte augmentation du trafic (camions jusqu'à 30 tonnes). 2 zones de travaux (descente puis reprise des matériaux). Trajet jusqu'à destination finale des matériaux (ISD).	-1	Augmentation du trafic limité à la durée des travaux et très limitée lors des opérations de maintenance (nombre d'engins de chantier inférieur à 10)
	Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	-5	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique). Risque de chute (pente)	-1	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux (risque chimique). Risque de chute (pente)
	Nuisances générées	-4	Production de poussières. Risque d'éboulements et de remobilisation de la pollution	-1	Production limitée de poussières
	Déchets générés	-5	100 % de déchets générés (DD)	-1	Déchets de chantier (DIB)
Scoring critères HSE		-4,75		-1,00	
Economique	Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement	-5	7 240 k€ HT	-2	Entre 2 250 k€ HT (géomembrane pour verse principale et béton projeté pour verses secondaires) et 3 100 k€ HT (béton projeté pour l'ensemble des verses)
	Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	-2	300 k€ HT (5 % du montant total fourchette basse)	-1	100 k€ HT (5 % du montant total fourchette basse)
	Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	-1	2 k€ HT par an	-1	10 k€ HT par an
	Incertitudes résiduelles	-5	Incertitudes sur les volumes et donc le coût global Incertitudes sur les coûts de gestion en filière et destination finale	0	Incertitude intégrée aux coûts estimés
Scoring critères économiques		-3,25		-1,00	
Scénarios		N1		N2	
Scoring critères techniques et organisationnels		2,80		2,00	
Moyenne critères HSE		-4,75		-1,00	
Scoring critère économique		-3,25		-1,00	
Scoring final		-1,73		0,00	



Les résultats du BCA des deux scénarios préétablis pour les verses de Nartau permettent de mettre en évidence les éléments d'analyses présentés *infra*. Pour rappel, la principale différence entre les 2 scénarios réside d'une part dans le retrait des résidus des verses et leur élimination hors site pour le premier scénario (N1) et d'autre part dans la mise en place d'un confinement par recouvrement pour le second (N2).

- **Critères techniques et organisationnels**

Les deux scénarios de gestion présentent des résultats assez proches à la lumière des critères techniques et organisationnels, les niveaux d'abattement de flux étant estimés respectivement à 100 % et 90 %. Le retrait des matériaux de la verse présente toutefois des avantages liés au caractère définitif de la solution envisagée et donc, par conséquence, à l'absence de suivi spécifique ultérieur et d'incertitudes résiduelles. La durabilité du confinement (scénario 2) reste relativement importante avec une durée estimée jusqu'à 60 ans pour la solution du béton projeté. Ce point pourra être réévalué, et si possible optimisé, en phase de conception.

Il est à noter que la faisabilité des deux scénarios est dépendante de la plateforme Marty, cette dernière devant permettre la reprise des matériaux (scénario 1) et/ou les installations nécessaires aux travaux de confinement (scénario 2). Ceci nécessitera donc l'évacuation de Marty au préalable ou *a minima* des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente.

- **Critères environnement, hygiène et sécurité**

La différence entre les deux scénarios de gestion est plus marquée sur le plan des critères HSE. En effet, le retrait des verses (scénarios 1) génère une quantité très importante de déchets (estimée à ce stade à 25 000 tonnes). Cette production s'oppose notamment à la réglementation en vigueur visant à limiter ou valoriser les déchets (article L. 541-1 du Code de l'Environnement), une valorisation n'étant pas envisageable dans le cas présent, compte tenu de la qualité chimique des matériaux.

Cette évacuation génère également de fortes contraintes sur le plan de l'hygiène et de la sécurité pour les travailleurs ainsi que des nuisances en phase chantier pour les populations voisines et l'environnement (émissions de poussières, trafic routier, stabilité...).

- **Critères économiques**

En lien avec la production de 25000 tonnes de déchets et leur gestion hors site, les coûts estimés associés à la mise en œuvre du scénario 1 sont plus du double de ceux estimés pour le scénario 2 (écart estimé entre 4 300 k€ HT et 5 200 k€ HT selon les techniques de confinement). En outre, l'incertitude financière est nettement plus marquée dans le cas du scénario 1, en lien notamment avec la connaissance imparfaite du volume exact de matériaux constituant les verses.

- **Conclusions**

Les deux scénarios présentent des performances techniques très proches (réduction des flux). La distinction entre les deux réside principalement en le retrait définitif de la source pour le scénario 1 qui a pour avantage de solutionner définitivement la problématique environnementale liée aux verses mais engendre de très fortes contraintes environnementales (production de déchets et nuisances associées) et financières ainsi qu'un niveau d'incertitudes plus élevé.

Au regard de ces éléments, le scénario 2 apparaît, à l'image de la notation établie, comme étant la solution la plus équilibrée, obtenant une note neutre (0). Le confinement de la verse principale par du béton projeté permet d'augmenter la durabilité de l'ouvrage et pourrait, en ce sens, être privilégié pour un surcoût estimé à 850 k€ HT.



7.3.2 Verse de Ramèle

Tableau 21. BCA - Verse de Ramèle

VERSE DE RAMELE					
Critères	Sous-critères	Scénario R1 : Confortement en pied de verse + évacuation hors site de l'ancienne zone d'impact de la cheminée + déviation des eaux de ruissellement propres externes + gestion des écoulements des eaux de ruissellement internes		Scénario R2 : Confortement en pied de verse + confinement partiel par couverture par une géomembrane avec gestion des eaux aval ou soil mixing de l'ancienne zone d'impact cheminée + déviation des eaux de ruissellement propres externes + gestion des écoulements des eaux de ruissellement internes	
		Excavation des sols avec évacuation vers filière de l'ancienne zone d'impact cheminée - A1 Gestion des eaux externes et internes + érosion - A11 et A13 Confortement en pied de verse - A15		Confinement ou stabilisation par couverture ou soil mixing - A5 ou A6 Gestion des eaux externes et internes + érosion - A11 et A13 Confortement en pied de verse - A15	
Technique et organisationnel	Données d'entrée	Volume estimé de 8 000 m ³ (17 000 tonnes environ) environ pour l'ancienne zone d'impact cheminée		Volume estimé de 8 000 m ³ (17 000 tonnes environ) environ pour une surface de 2000 m ² pour l'ancienne zone d'impact cheminée	
	Maturité des techniques utilisées	5	Techniques maîtrisées et filière existante	5	Techniques maîtrisées
	Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	5	Traitement de 100 % des flux issus de la zone de la cheminée, limitation de l'entrée d'eaux externes, gestion partielle des eaux internes, stabilisation en pied de verse	3	Traitement de 90 % des flux issus de la zone de la cheminée, limitation de l'entrée d'eaux externes, gestion partielle des eaux internes, stabilisation en pied de verse
	Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement	4	Traitement définitif de la zone de la cheminée. Gestion continue des eaux de ruissellement	3	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour la géomembrane. Gestion continue des eaux de ruissellement
	Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	-1	Retrait total de la zone d'impact cheminée. Présence d'ouvrages passifs de gestion des eaux	-2	Maintien d'une couverture ou surveillance de la stabilisation des résidus de la zone d'impact cheminée. Présence d'ouvrages passifs de gestion des eaux
	Incertitudes résiduelles	-4	Incertitude sur le corps de verse du fait de son hétérogénéité potentielle et sur l'atteinte des objectifs. Incertitudes sur le volume concerné par la zone d'impact cheminée	-5	Incertitude sur le corps de verse du fait de son hétérogénéité potentielle, sur l'atteinte des objectifs et le flux résiduel associé à la zone d'impact cheminée. Incertitudes sur la performance et la durabilité de l'ouvrage (confinement) ou de la stabilisation (essai pilote nécessaire pour le soil mixing)
Scoring critères techniques et organisationnels		1,80		0,80	
Environnement, Hygiène, Sécurité	Augmentation du trafic routier / consommation énergétique (bilan carbone) et émissions GES	-4	Forte augmentation du trafic (camions jusqu'à 30 tonnes). 2 zones de travaux (descente puis reprise des matériaux). Trajet jusqu'à destination finale des matériaux (ISD).	-1	Augmentation du trafic limité à la durée des travaux et très limitée lors des opérations de maintenance (nombre d'engins de chantier inférieur à 10)
	Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	-4	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique associé à l'anhydride arsénieux). Risque routier. Risque liés aux travaux d'excavation (risque mécanique).	-1	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux (risque chimique associé à l'anhydride arsénieux)
	Nuisances générées	-4	Production de poussières en phase chantier	-1	Production limitée de poussières
	Déchets générés	-4	Production de déchets dangereux non valorisables	-1	Déchets de chantier (DIB)
Scoring critères HSE		-4,00		-1,00	
Economique	Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement	-5	8 280 k€ HT	-2	2 635 k€ HT
	Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	-2	300 k€ HT	-1	200 k€ HT
	Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	-1	10 k€ HT par an	-1	10 k€ HT par an
	Incertitudes résiduelles	-5	Forte incertitude sur la contribution et l'hétérogénéité du corps de verse au flux global issu de Ramèle. Incertitudes sur le volume de la zone source cheminée	-4	Forte incertitude sur la contribution et l'hétérogénéité du corps de verse au flux global issu de Ramèle. Incertitudes sur la surface de la zone source cheminée
Scoring critères économiques		-3,25		-2,00	
Scénarios		R1		R2	
Scoring critères techniques et organisationnels		1,80		0,80	
Moyenne critères HSE		-4,00		-1,00	
Scoring critère économique		-3,25		-2,00	
Scoring final		-1,82		-0,73	



Les résultats du BCA des deux scénarios préétablis pour la verse de Ramèle permettent de mettre en évidence les éléments d'analyses présentés *infra*. Pour rappel, la principale différence entre les 2 scénarios réside d'une part dans le retrait des matériaux présents au sein de la zone d'impact cheminée et leur élimination hors site pour le premier scénario et d'autre part dans la mise en place d'un confinement (confinement par géomembrane ou stabilisation chimique par soil mixing) pour le second. Ces mesures sont accompagnées dans les deux cas d'un confortement en pied de verse (mise en place de gabions) et d'une gestion des eaux externes et internes de la verse. L'hypothèse forte retenue à ce stade, et demeurant à confirmer, est une contribution majeure de la zone d'impact cheminée sur l'impact global de la verse (flux d'As).

- **Critères techniques et organisationnels**

Les deux scénarios présentent toutefois une évaluation positive, permettant dans les deux cas l'atteinte des objectifs visés sur la base de ces critères et des hypothèses retenues à ce stade. Le premier scénario présente toutefois une meilleure notation pour les critères techniques et organisationnels, le retrait des matériaux de la zone d'impact cheminée permettant de limiter les contraintes associées à la durabilité et à la surveillance des ouvrages associés aux mesures de confinement du second scénario. Dans le cadre de ce dernier, 2 solutions techniques sont considérées comme susceptibles de répondre à l'objectif, la technique de soil mixing devant toutefois faire l'objet d'une étude de faisabilité préalable. Il est à noter une incertitude sur l'atteinte des objectifs en lien avec l'imprécision associée à l'agencement de la qualité des résidus en profondeur et leur contribution éventuelle au flux.

- **Critères environnement, hygiène et sécurité**

Le scénario 2 est notablement mieux noté sur le plan des critères HSE. Cette différence est associée aux déchets générés par le scénario 1 (17 000 tonnes estimées pour la zone d'impact cheminée) et aux travaux de terrassements associés. Cette production s'oppose, tout comme pour le scénario 1 de la verse de Nartau, à la réglementation en vigueur visant à limiter ou valoriser les déchets (article L. 541-1 du Code de l'Environnement), une valorisation n'étant pas envisageable dans le cas présent, compte tenu de la qualité chimique des résidus. Cette évacuation génère également de fortes contraintes sur le plan des nuisances en phase chantier pour les populations voisines (émissions de poussières, trafic routier...).

- **Critères économiques**

La production de 17 000 tonnes de déchets et leur gestion hors site engendrent des coûts estimés dans le cadre du scénario 1, trois fois supérieurs à ceux estimés pour le scénario 2 (écart estimé 5 400 k€ HT environ). Ceci a pour conséquence de pénaliser le premier scénario sur la notation de ces critères. En outre, l'incertitude financière générée par l'incertitude globale associée à la caractérisation de la verse de Ramèle est amplifiée par celle associée au volume exact de résidus à évacuer dans le cadre du scénario 1.

- **Conclusions**

La meilleure performance sur le plan technique et organisationnel présentée par le scénario 1 est contrebalancée par des impacts HSE et financiers importants conduisant finalement à mettre en avant le scénario 2. L'orientation entre la solution de couverture de soil mixing au droit de la zone d'impact cheminée devra par ailleurs être soumise à la mise en œuvre d'études complémentaires de faisabilité, ces 2 approches techniques étant relativement proches sur le plan financier.



Quel que soit le scénario envisagé, il demeurera nécessaire de lever les incertitudes associées à la contribution des matériaux de la verse sur le flux d'As avant toute mise en œuvre de travaux visant spécifiquement la zone d'impact cheminée. Cette levée d'incertitude ne concerne toutefois pas les mesures communes aux deux scénarios : confortement en pied de verse et gestion des eaux externes et internes. Cette incertitude conduit, à ce stade, à noter négativement les 2 scénarios, le scénario 2 présentant tout de même un meilleur résultat.

7.3.3 Plateforme Marty

Tableau 22. BCA - Plateforme Marty

PLATEFORME MARTY					
Critères	Sous-critères	Scénario M1 : Retrait complet de la source + gestion des eaux externes		Scénario M2 : Excavation et stockage in situ au sein d'un confinement hors zone inondable	
		Excavation des sols avec évacuation vers filière - A1 Gestion des eaux externes - A13		Volume estimé à 4000 m ³ (8400 tonnes) dont 1300 m ³ à déplacer	
Technique et organisationnel	Données d'entrée	Volume estimé à 4000 m ³ (8400 tonnes)		Confinement sur une surface de 1 500 m ² avec apport de 1300 m ³ (A5)	
	Maturité des techniques utilisées	5	Techniques maîtrisées et filière existante	5	Techniques maîtrisées
	Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	5	Traitement définitif	4	Conservation de la source avec réduction des flux estimé à 90 %. Bonne performance attendue.
	Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement	5	Traitement définitif	4	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour la géomembrane
	Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	0	Traitement définitif	-1	Confinement avec géomembrane
	Incertitudes résiduelles	0	Retrait total de la source	-1	Incertitude faible sur la faisabilité
Scoring critères techniques et organisationnels		3,00		2,20	
Environnement, Hygiène, Sécurité	Augmentation du trafic routier / consommation énergétique (bilan carbone) et émissions GES	-3	Forte augmentation du trafic (camions jusqu'à 30 tonnes). Trajet jusqu'à destination finale des matériaux (ISD).	-1	Augmentation du trafic limitée à la durée des travaux et très limitée lors des opérations de maintenance (nombre d'engins de chantier inférieur à 10)
	Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	-3	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique).	-2	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique).
	Nuisances générées	-3	Production de poussières	-1	Production limitée de poussières
	Déchets générés	-3	100 % de déchets dangereux	-1	Déchets de chantier (DIB)
Scoring critères HSE		-3,00		-1,25	
Economique	Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement	-2	2 475 k€ HT	-1	516 k€ HT
	Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	-1	100 k€ HT	-1	50 k€ HT
	Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	0	0 k€ HT	0	10 k€ HT
	Incertitudes résiduelles	-3	Incertitudes sur le volume et donc le coût global. Incertitudes sur les coûts de gestion en filière	-1	Incertitude sur le volume total à déplacer
Scoring critères économiques		-1,50		-0,75	
Scénarios		M1		M2	
Scoring critères techniques et organisationnels		3,00		2,20	
Moyenne critères HSE		-3,00		-1,25	
Scoring critère économique		-1,50		-0,75	
Scoring final		-0,50		0,07	



Les résultats du BCA des deux scénarios préétablis pour la plateforme de Marty permettent de mettre en évidence les éléments d'analyses présentés *infra*. Pour rappel, la principale différence entre les 2 scénarios réside d'une part dans le retrait des résidus présents sur la plateforme et leur élimination hors site pour le premier scénario et d'autre part dans la mise en place d'un confinement sécurisé par recouvrement hors zone inondable pour le second, nécessitant le déplacement préalable d'une partie des matériaux.

- **Critères techniques et organisationnels**

Les deux scénarios de gestion présentent des résultats assez proches à la lumière des critères techniques et organisationnels, la différence observée étant associée à la présence résiduelle des matériaux de la plateforme au sein d'un confinement, nécessitant une surveillance spécifique et présentant une durabilité estimée à 30 ans.

Il est à noter que le scénario 2 limite la faisabilité d'une gestion des verses de Nartau tant en termes d'évacuation que de confinement pour ces dernières sauf à prévoir au préalable *a minima* des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente.

- **Critères environnement, hygiène et sécurité**

Les deux scénarios sont plus différenciés sur la base des critères HSE, le scénario 1 nécessitant le terrassement et l'évacuation de 8400 tonnes estimées de matériaux. Cette production s'oppose également à la réglementation en vigueur visant à limiter ou valoriser les déchets (article L. 541-1 du Code de l'Environnement), une valorisation n'étant pas envisageable dans le cas présent, compte tenu de la qualité chimique des résidus. Cette différence est nuancée dans le cadre des scénarios de gestion de la plateforme Marty, le scénario 2 nécessitant tout de même le déplacement d'une partie des matériaux pour les disposer hors zone inondable.

La mise en œuvre du scénario 1 génère également, lors des évacuations, des contraintes sur le plan des nuisances en phase chantier pour les populations voisines (émissions de poussières, trafic routier...).

- **Critères économiques**

L'écart de coûts estimés est de l'ordre de 2 000 k€ HT, à l'avantage du scénario 2. De plus, l'incertitude associée au volume exact de matériaux présents est plus impactante dans le cadre du scénario 1.

- **Conclusions**

Les deux scénarios répondent aux objectifs visés en termes de performances techniques (réduction des flux). Le scénario 1 est plus impactant sur les plans HSE et financiers mais devra être étudié, dans le cadre de la gestion globale de la vallée, libérant définitivement la plateforme pour des besoins opérationnels de mise en œuvre de travaux sur les verses de Nartau qui nécessitent pour rappel *a minima* des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente (critère non discuté à ce stade du BCA). Une étude de faisabilité plus aboutie, pourrait éventuellement venir apporter des solutions techniques permettant de limiter au maximum les évacuations préalables nécessaires et ainsi permettre un confinement d'une partie des matériaux de la plateforme dans un contexte de travaux sur les verses de Nartau.

Au regard de ces éléments, le scénario 2 apparaît, au regard de la notation établie, comme étant la solution la plus équilibrée pour la zone considérée seule, obtenant une note neutre (0).



7.3.4 Zone de résidus de fours

Tableau 23. BCA - Zone de résidus de fours

ZONE DE RESIDUS DE FOURS					
Critères	Sous-critères	Retrait complet des résidus		Retrait des résidus et transfert sur Marty (en complément scénario M2)	
		A1 - Excavation des sols avec évacuation vers filière des matériaux impactés		Excavation des résidus avec évacuation sur site Marty	
Technique et organisationnel	Données d'entrée	Volume de 300 m ³ estimés		Volume de 300 m ³ estimés	
	Maturité des techniques utilisées	5	Techniques maîtrisées et filière existante	5	Techniques maîtrisées
	Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	5	Traitement définitif	4	Conservation de la source avec réduction des flux estimé à 90 % associé au confinement sur Marty. Bonne performance attendue.
	Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement	5	Traitement définitif	4	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour la géomembrane
	Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	0	Traitement définitif	-1	Evacuation sur Marty / surveillance de Marty
	Incertitudes résiduelles	0	Retrait total de la source	-1	Maintenance limitée. Incertitudes sur la dimension du stockage définitif sur Marty
Scoring critères techniques et organisationnels		3,00		2,20	
Environnement, Hygiène, Sécurité	Augmentation du trafic routier / consommation énergétique (bilan carbone) et émissions GES	-2	Augmentation limitée du trafic routier (630 tonnes)	-1	Augmentation limitée à la phase de travaux et aux petites opérations de maintenance
	Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	-2	Production de poussières	-2	Production de poussières
	Nuisances générées	-2	Production de poussières	-2	Production de poussières
	Déchets générés	-2	100 % de déchets dangereux	0	Déchets de chantier (DIB)
Scoring critères HSE		-2,00		-1,25	
Economique	Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement	-2	311 k€ HT	-1	171 k€ HT
	Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	-1	15 k€ HT	-1	10 k€ HT
	Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	0	0 k€ HT	-1	10 k€ HT
	Incertitudes résiduelles	-2	Incertitudes sur le volume (limité) et donc le coût global. Incertitudes sur les coûts de gestion en filière	-1	Incertitude sur le volume total à déplacer (volume toutefois limité)
Scoring critères économiques		-1,25		-1,00	
Scénarios		F1		F2	
Scoring critères techniques et organisationnels		3,00		2,20	
Moyenne critères HSE		-2,00		-1,25	
Scoring critère économique		-1,25		-1,00	
Scoring final		-0,08		-0,02	



Les résultats du BCA des deux scénarios préétablis pour la zone de résidus de fours permettent de mettre en évidence les éléments d'analyses présentés *infra*. Pour rappel, dans les deux scénarios, les matériaux résiduels concernés seront évacués, hors site dans le cadre du premier scénario ou sur site, confinés au droit de la plateforme Marty, parallèlement à la solution M2, pour le second scénario.

- **Critères techniques et organisationnels**

Les deux scénarios de gestion présentent des résultats assez proches à la lumière des critères techniques et organisationnels. Il est à noter que les contraintes complémentaires liées à la surveillance et la durabilité du confinement au droit de la plateforme Marty seront de fait à supporter dans le cadre du scénario M2 (voir chapitre précédent).

- **Critères environnement, hygiène et sécurité**

La différence entre les deux scénarios de gestion tient essentiellement en l'évacuation hors site des matériaux (augmentation du trafic routier et production de déchets non valorisables). Les risques associés au chantier et les nuisances engendrées pour la population sont assez proches pour les deux scénarios étudiés.

- **Critères économiques**

La différence entre les deux scénarios de gestion est moins marquée sur le plan des critères économiques que pour les autres zones étudiées en raison du faible volume associé à la zone de résidus de fours (environ 300 m³ estimés). Le scénario 1 présente un surcoût d'environ 135 k€ HT pour une incertitude légèrement augmentée associée au volume exact de matériaux présents.

- **Conclusions**

Dans les deux cas étudiés, la zone de résidus de fours est évacuée. Le premier scénario permet de résoudre définitivement la problématique associée aux résidus avec une évacuation hors site, mais avec le désavantage de produire des déchets, demeurant toutefois limités en termes de volume. Le scénario 2 ne peut être envisagé que sous la condition de mise en œuvre d'un confinement au droit de la plateforme Marty (scénario M2), ayant pour effet en cascade, de potentielles contraintes sur les possibilités d'actions sur les verses de Nartau, des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente *étant a minima* à opérer dans cette perspective.

Compte tenu d'approches assez analogues et des volumes limités de matériaux, les notes globales des deux scénarios étudiés sont très similaires et proches de la neutralité. La gestion de cette source est fortement influencée soit par le volume limité de résidus associé à cette source (choix orienté vers l'élimination) soit par les mesures de gestion à envisager au droit de la plateforme Marty et des verses de Nartau (choix du confinement sur site).



7.3.5 Grésillou

Tableau 24. BCA - Grésillou

GRESILLOU					
Critères	Sous-critères	Scénario G1 : Gestion des flux sédimentaires contenu dans les eaux superficielles au niveau des sources de pollution		Scénario G2 : Gestion des flux sédimentaires contenu dans les eaux superficielles jusqu'en aval	
		Seuils et zone d'expansion au niveau des sources de pollution - A13		Seuils et zone d'expansion au niveau des sources de pollution - A13	
Technique et organisationnel	Données d'entrée	4 seuils		4 + 2 seuils	
	Maturité des techniques utilisées	5	Techniques maîtrisées	5	Techniques maîtrisées
	Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	2	Risques de transferts particuliers gérés en amont. Mesure de gestion complémentaire	4	Risques de transferts particuliers gérés en amont. Mesure de gestion complémentaire des sédiments existants
	Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement	4	Seuils durables si mesures de gestion des zones sources	4	Seuils durables si mesures de gestion des zones sources
	Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	-1	Entretien des seuils	-2	Entretien des seuils
	Incertitudes résiduelles	-1	Incertitudes sur le dimensionnement des seuils + faisabilité et durée de mise en œuvre soumise à la procédure IOTA	-1	Incertitudes sur le dimensionnement des seuils + faisabilité et durée de mise en œuvre soumise à la procédure IOTA
Scoring critères techniques et organisationnels		1,80		2,00	
Environnement, Hygiène, Sécurité	Augmentation du trafic routier / consommation énergétique (bilan carbone) et émissions GES	-1	Augmentation limitée à la durée des travaux	-1	Augmentation limitée à la durée des travaux
	Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	0	Faibles risques	0	Faibles risques
	Nuisances générées	0	Faibles nuisances	0	Faibles nuisances
	Déchets générés	-1	Déchets limités aux sédiments récoltés	-1	Déchets limités aux sédiments récoltés
Scoring critères HSE		-0,50		-0,50	
Economique	Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement	-2	2 165 k€ HT	-4	3 010 k€ HT
	Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	-1	25 k€ HT	-1	25 k€ HT
	Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	-1	35 k€ HT	-1	45 k€ HT
	Incertitudes résiduelles	0	Pas d'incertitudes	0	Pas d'incertitudes
Scoring critères économiques		-1,00		-1,50	
Scénarios		G1		G2	
Scoring critères techniques et organisationnels		1,80		2,00	
Moyenne critères HSE		-0,50		-0,50	
Scoring critère économique		-1,00		-1,50	
Scoring final		0,10		0,00	



Les résultats du BCA des deux scénarios préétablis pour le Grésillou permettent de mettre en évidence les éléments d'analyses présentés *infra*. Pour rappel, l'unique différence entre ces deux scénarios consiste en la mise en place dans le second de seuils en partie aval (2) du Grésillou en sus des 4 seuils programmés en aval des zones sources dans le cadre du scénario1. Ces ouvrages ont pour vocation de gérer et contrôler le flux particulaire (sédiments) au sein du cours d'eau. Le premier scénario vise principalement la gestion des impacts résiduels des zones sources, complétée pour le second, de la gestion des sédiments et paléo-sédiments impactés d'ores et déjà présents plus en aval.

- **Critères techniques et organisationnels**

Les deux scénarios de gestion ne se distinguent que par les objectifs visés et rappelés *supra*. Ainsi, le scénario 2 est fort justement valorisé sur le plan technique et organisationnel.

- **Critères environnement, hygiène et sécurité**

Aucune différence n'apparaît entre les deux scénarios pour ces critères, les impacts HSE étant limités pour ces modalités de gestion (seuils).

- **Critères économiques**

Le scénario 1 est avantagé sur le plan économique de façon proportionnelle au nombre de seuils mis en place (4 contre 6 selon le scénario).

- **Conclusions**

Les deux scénarios présentent des résultats très similaires et neutres. La décision portera sur la stratégie retenue *in fine* et les objectifs en termes de gestion des sédiments (préventive en aval des source et/ou corrective avec une gestion supplémentaire des sédiments déjà générés et transportés à l'aval). L'incidence financière associée est estimée à environ 850 k€ HT.

7.4 Résultats du Bilan Coûts-Avantages des scénarios envisagés à l'échelle de la vallée du Grésillou

Le tableau en page suivante présente les résultats du BCA mis en œuvre pour les trois scénarios intégrés prédéfinis, en première approche, à l'échelle de la vallée du Grésillou.

Pour rappel, la construction de ces scénarios avait pour objectif de proposer trois approches intégrées suffisamment différenciées permettant toutes deux l'atteinte de l'objectif visé, à savoir une réduction significative des flux en As dissous et particulaire principalement vers le Grésillou, tout évènement météorologique confondu.

Ces scénarios n'ont pas vocation à représenter une simple accumulation des scénarios les mieux notés par zones sources, mais bien de constituer des solutions opérationnelles et imbriquées de façon logique, équilibrée et proportionnée aux enjeux environnementaux (contribution relative notamment de chaque zone source) de la vallée du Grésillou.



Tableau 25. BCA - Scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou

Scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou										
Critères	Sous-critères	Scénario intégré 1 : N2 + R2 + M1 + F1			Scénario intégré 2 : R2 + M2 + F2 + G1			Scénario intégré 3 : N2 + R2 + M2 + F2 + G2		
		Note	Justification	Commentaire	Note	Justification	Commentaire	Note	Justification	Commentaire
Techniques et organisationnels	Maturité des techniques utilisées	5	Techniques matures	Pas de distinction quelle que soit la zone étudiée	5	Techniques matures	Pas de distinction quelle que soit la zone étudiée	5	Techniques matures	Pas de distinction quelle que soit la zone étudiée
	Atteinte des objectifs / Performance technique / Réduction des émissions et flux	4	Gestion de 20 % des flux totaux d'As dissous vers le Grésillou via Nartau plus 75 % pour Ramèle (estimation) soit au global 95 % de gestion du flux d'As dissous. Gestion de 90 % des flux particuliers	Note attribuée au regard de la somme des réductions de flux estimées	3	Gestion de 75 % des flux totaux d'As dissous vers le Grésillou via Ramèle (zone d'impact cheminée). Gestion de 95 % des flux particuliers.	Note attribuée au regard de la somme des réductions de flux	5	Gestion de 20 % des flux totaux d'As dissous vers le Grésillou via Nartau plus 75 % pour Ramèle (estimation) soit au global 95 % de gestion du flux d'As dissous. Gestion de 100 % des flux particuliers	Note attribuée au regard de la somme des réductions de flux
	Stratégie de dépollution dans le temps / durée de traitement	3	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour Nartau et Ramèle (zone d'impact cheminée)	Note portée par le confinement de Nartau et Ramèle	3	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour Ramèle (zone d'impact cheminée) et Marty	Note portée par le confinement de Ramèle et Marty (dont résidus de fours)	3	Traitement d'une durée de vie estimée à 20 à 30 ans pour Nartau, Ramèle (zone d'impact cheminée) et Marty	Note portée par le confinement de Nartau, Ramèle et Marty (dont résidus de fours)
	Maintien sur secteur d'unité de traitement / surveillance ultérieure des ouvrages et/ou installations	-1	Surveillance des ouvrages sur Nartau et Ramèle	Note associée à la surveillance de Nartau et Ramèle	-2	Suivi nécessaire des seuils. Surveillance des ouvrages sur Ramèle et Marty. Surveillance de l'impact Nartau	Contraintes supplémentaires associées à la surveillance de Nartau et de Marty en sus de Ramèle	-1	Suivi nécessaire des seuils. Surveillance des ouvrages sur Nartau, Ramèle et Marty.	Note associée à la surveillance de Nartau, Ramèle et Marty
	Incertitudes résiduelles	-4	Performance des ouvrages et durabilité. Incertitudes sur le volume associé aux résidus de fours et Marty. Incertitudes sur l'atteinte de l'objectif sur Ramèle	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle. Note attribuée de -4 pour permettre la distinction avec le scénario intégré 2	-5	Flux en As dissous de Nartau. Performance et durabilité des ouvrages sur Ramèle et Marty. Incertitudes sur l'atteinte de l'objectif sur Ramèle	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle. Incertitudes supplémentaires associées au confinement de Marty et au flux résiduel associé à Nartau	-5	Performance des ouvrages et durabilité. Incertitudes sur l'atteinte de l'objectif sur Ramèle	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle. Incertitude sur la faisabilité de mise en œuvre des travaux sur Nartau sans évacuation de Marty
Scoring critères techniques et organisationnels		1,40			0,80			1,40		
Environnement, Hygiène, Sécurité	Augmentation du trafic routier / consommation énergétique (bilan carbone) et émissions GES	-3	Augmentation du trafic routier lié à l'évacuation des matériaux issues de la zone de résidus de four et de Marty	Note portée essentiellement par Marty	-1	Augmentation limitée aux travaux	Note homogène avec les scénarios ne prévoyant pas d'évacuation de résidus	-2	Augmentation limitée aux travaux	Note homogène avec les scénarios ne prévoyant pas d'évacuation de résidus mais nécessitant plus de travaux que le scénario 2
	Risques HSE liés au chantier de réhabilitation	-3	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique).	Note portée essentiellement par Marty	-2	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique).	Déplacement plus limité de matériaux. Note cohérente avec les scénarios M2 et F2	-2	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique).	Déplacement plus limité de matériaux. Note cohérente avec les scénarios M2 et F2
	Nuisance générées	-4	Production de poussières	Impact cumulé Nartau, Ramèle, Nartau (principale source). Zone résidus de fours	-1	Production limitée de poussières	Déplacement plus limité de matériaux. Note cohérente avec les scénarios R2, M2 et F2	-3	Production limitée de poussières	Déplacement plus limité de matériaux mais augmenté par rapport au scénario 2 (reprofilage partiel de Nartau) et travaux au droit d'une zone impactée (Marty). Note cohérente avec les scénarios R2, M2 et F2
	Déchets générés	-3	Déchets produits par l'évacuation de Marty et des résidus de fours	Note portée essentiellement par Marty	-1	Déchets de chantier (DIB)	Déchets de chantier uniquement, absence d'évacuation de résidus	-2	Déchets de chantier (DIB)	Déchets de chantier uniquement mais supérieurs au scénario 2, absence d'évacuation de résidus
Scoring critères HSE		-3,25			-1,25			-2,25		
Economique	Estimation des coûts de mise en œuvre technique et d'essais pilotes si nécessaire préalablement	-4	Entre 7 031 k€ HT et 7 881 k€ HT	Coûts portés par Nartau et Ramèle. Notation homogène avec les notations des coûts pour les zones	-3	5 067 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts	-4	Entre 8 012 k€ HT et 8 862 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts
	Estimation des coûts liés à la prévention/sécurité des travailleurs	-2	400 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts	-2	400 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts	-2	400 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts
	Coûts de suivi ou entretien ultérieurs	-1	20 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts	-1	60 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts	-1	80 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts
	Incertitudes résiduelles	-5	Incertitudes sur les volumes et donc le coût global. Incertitudes sur les coûts de gestion en filière pour Résidus de fours et Marty. Forte incertitude sur la contribution et l'hétérogénéité du corps de verse au flux global issu de Ramèle.	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle et dans une moindre mesure sur le coût de retrait de Marty. Note attribuée de -5 pour permettre la distinction avec le scénario intégré 2	-4	Incertitude sur le volume Marty + résidus de fours à déplacer. Forte incertitude sur la contribution et l'hétérogénéité du corps de verse au flux global issu de Ramèle.	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle. Note attribuée de -4 pour permettre la distinction avec le scénario intégré 1	-5	Incertitude sur la faisabilité des travaux sans déplacement de Marty + résidus de fours. Forte incertitude sur la contribution et l'hétérogénéité du corps de verse au flux global issu de Ramèle.	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle puis Marty.
Scoring critères économiques		-3,00			-2,50			-3,00		
Scénario		Scénario intégré 1			Scénario intégré 2			Scénario intégré 3		
Scoring critères techniques et organisationnels		1,40			0,80			1,40		
Moyenne critères HSE		-3,25			-1,25			-2,25		
Scoring critère économique		-3,00			-2,50			-3,00		



Les résultats du BCA des trois scénarios préétablis à l'échelle de la vallée du Grésillou permettent de mettre en évidence les éléments d'analyses présentés *infra*. Pour rappel, seul le scénario de gestion de Ramèle R2 demeure commun aux trois scénarios intégrés. Les différences majeures consistent en :

1. Pour les scénarios intégrés 1 et 3 : le confinement des verses de Nartau, avec retrait des matériaux de la plateforme Marty et des résidus de fours (scénarios N2, M1 et F1) pour le scénario intégré 1 facilitant ainsi les travaux sur Nartau, ou avec confinement des matériaux de Marty auxquels sont adjoints les résidus de four et la mise en place de seuils au droit du Grésillou en amont et aval des zones sources et en amont de la confluence avec l'Orbiel (scénarios N2, M2, F2 et G2) pour le scénario intégré 3.
2. Pour le scénario intégré 2 : l'absence de mesure de gestion directe sur les verses de Nartau, le confinement des matériaux de Marty auxquels sont adjoints les résidus de four et la mise en place de seuils au droit du Grésillou en amont et aval des zones sources,

- **Critères techniques et organisationnels**

Les trois scénarios de gestion présentent des résultats positifs et proches sur la base de l'étude des critères techniques et organisationnels. Ceci apparaît en conformité avec la capacité des trois scénarios d'atteindre les objectifs visés (réduction significative des flux en As en direction du Grésillou), sur la base des hypothèses émises en amont.

Les scénarios 1 et 3, privilégiant une action sur les verses de Nartau (confinement) associée ou non à la gestion des sédiments au sein du Grésillou, obtiennent une note légèrement plus favorable en raison de l'abattement du flux associé (estimé à 20 % du flux total à l'échelle de la vallée). La gestion des sédiments du Grésillou dans le cadre du scénario 3 en raison notamment de la persistance, au sein d'un confinement, des matériaux de la plateforme Marty associés à ceux de la zone de résidus de fours permet de sécuriser un peu plus la gestion du flux particulière.

Dans le cadre des scénarios 2 et 3, la mise en place de seuils dans le Grésillou engendre la nécessité d'un entretien périodique (retrait des sédiments). Pour les trois scénarios l'incertitude reste tout de même significative en raison de celle associée à l'atteinte des objectifs (et des moyens associés) pour la verse de Ramèle.

- **Critères environnement, hygiène et sécurité**

Dans le cadre du scénario 1, la mise à disposition de la plateforme Marty et donc le retrait des résidus présents au droit de celle-ci facilitera, d'un point de vue opérationnel, la mise en place d'une action sur les verses de Nartau (confinement). Cette évacuation génère une production significative de déchets avec des inconvénients sur le plan environnemental notamment (augmentation du trafic routier). Cette production s'oppose également à la réglementation en vigueur visant à limiter ou valoriser les déchets (article L. 541-1 du Code de l'Environnement), une valorisation n'étant pas envisageable dans le cas présent, compte tenu de la qualité chimique des résidus concernés.

Cette évacuation génère également de fortes contraintes sur le plan de l'hygiène et de la sécurité pour les travailleurs ainsi que des nuisances en phase chantier pour les populations voisines (émissions de poussières, trafic routier...).

Aussi, le scénario 1 obtient une note pour les critères HSE significativement plus faible que pour les scénarios 2 et 3. Le scénario 2 est celui qui présente le moins de contraintes sur ces aspects de l'évaluation en raison principalement de l'absence de travaux sur les verses de Nartau.



- **Critères économiques**

Les scénarios 1 et 3 présentent un bilan financier plus défavorable avec des coûts estimés respectivement entre 7 000 k€ HT et 7 800 k€ HT et entre 8 000 k€ HT et 8 800 k€ HT environ contre 5 000 k€ HT pour le scénario 2. La différence est donc d'environ 2 000 k€ à 3 800 k€ HT selon le choix de la technique de confinement et du scénario retenu (1 ou 3).

En outre, l'incertitude financière est légèrement plus marquée dans le cas des scénarios 1 et 3, en lien pour le premier avec la connaissance imparfaite du volume exact de résidus constituant la plateforme Marty et pour le second avec la faisabilité des travaux sur les verses de Nartau sans retrait préalable des matériaux de la plateforme Marty. L'incidence liée à l'incertitude associée à la gestion de la verse de Ramèle demeure la même pour les trois scénarios.

- **Conclusions**

Les notations des trois scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou sont fortement marquées par les incertitudes résiduelles associées à la part de la contribution de la zone d'impact cheminée et l'hétérogénéité éventuelle de la verse de Ramèle. En conséquence, les notes obtenues pour chacun des trois scénarios demeurent négatives avec toutefois une évaluation globale plus favorable au scénario 2. Ce résultat est à relier avec des contraintes HSE et des coûts moindres pour ce second scénario.

Il est à noter que le scénario 1, et plus particulièrement la mise en œuvre d'une mesure de gestion des verses de Nartau, est fortement contraint par le choix, pour faciliter ces travaux, d'évacuer hors site les matériaux de la plateforme Marty et par conséquent, et dans une moindre mesure au regard du volume concerné, de la zone de résidus de fours. Une étude de faisabilité plus aboutie, pourrait éventuellement venir apporter des solutions techniques permettant de limiter au maximum les évacuations préalables nécessaires et ainsi permettre un confinement d'une partie des matériaux de la plateforme dans un contexte de travaux sur les verses de Nartau. Ceci viendrait donc conforter la faisabilité en l'état du scénario 3 qui apparaît comme étant le plus sécurisé en termes d'atteinte des objectifs.

L'acquisition de données complémentaires de caractérisation des zones sources et notamment de Ramèle et la réalisation d'un Plan de Conception des Travaux (PCT) intégrant des essais de faisabilité, pourra permettre une consolidation de ce BCA, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

Cette situation ne remet toutefois pas en cause la possibilité d'engager certaines mesures de gestion, y compris au droit de la verse de Ramèle (confortement du pied de la verse, gestion des eaux externes et internes), tout en réalisant les investigations complémentaires nécessaires à la levée des incertitudes résiduelles (voir chapitre 9 dédié).

7.5 Etude d'un scénario complémentaire à l'échelle de la vallée du Grésillou intégrant le retrait des verses de Nartau

Indépendamment des résultats des BCA scénarios par zone source, afin de répondre une demande de la maîtrise d'ouvrage au regard des attentes locales, dans le cadre d'une évaluation de l'incidence de l'intégration d'une solution avec retrait des verses de Nartau, un scénario complémentaire a été testé et confronté à la méthodologie du BCA. Ce scénario avait pour objectif d'être comparé en l'état avec le scénario intégré 3 et comprend donc la mesure de gestion N1, toutes choses étant par ailleurs égales, à savoir R2, M2, F2 et G2, afin de répondre à cet objectif de mise en perspective du résultat obtenu à l'issue de l'exercice de notation.



Nous rappelons ici que les vers de Nartau ont fait l'objet d'une première phase de BCA avec confrontation de 2 scénarios, le premier avec retrait des matériaux, le second avec une solution de confinement. Le résultat obtenu avait alors été très largement favorable à la deuxième solution.

Tableau 26. BCA – notation du scénario complémentaire avec retrait de Nartau

Scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou	SCENARIO COMPLEMENTAIRE		
Critères	Scénario complémentaire : N1 + R2 + M2 + F2 + G2		
	Note	Justification	Commentaire
Techniques et organisationnels	5	Techniques matures	Pas de distinction quelle que soit la zone étudiée
	5	Gestion de 20 % des flux totaux d'As dissous vers le Grésillou via Nartau plus 75 % pour Ramèle (estimation) soit au global 95 % de gestion du flux d'As dissous. Gestion de 100 % des flux particuliers	Note attribuée au regard de la somme des réduction de flux
	4	Traitement définitif pour Nartau, d'une durée estimée à 20 à 30 ans pour Ramèle (zone d'impact cheminée) et Marty	Note portée par le confinement de Ramèle et Marty (dont résidus de fours) et la présence des seuils
	-1	Suivi nécessaire des seuils. Surveillance des ouvrages sur Ramèle et Marty.	Note associée à la surveillance de Ramèle et Marty
	-5	Performance des ouvrages et durabilité. Incertitudes sur l'atteinte de l'objectif sur Ramèle	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle. Incertitude sur le volume de Nartau. Incertitude sur la faisabilité de mise en œuvre des travaux sur Nartau sans évacuation de Marty.
Scoring critères techniques et organisationnels	1,60		
Environnement, Hygiène, Sécurité	-5	Augmentation du trafic routier lié à l'évacuation des matériaux issues de Nartau	Note portée essentiellement par Nartau
	-5	Exposition aux poussières d'arsenic durant les travaux d'excavation (risque chimique). Risque routier. Risque liés au travaux d'excavation (risque mécanique et d'effondrement pour Nartau).	Note portée essentiellement par Nartau
	-5	Production importante de poussières	Impact travaux sur Nartau principalement
	-5	Déchets produits par l'évacuation de Nartau	Note portée essentiellement par Nartau
Scoring critères HSE	-5,00		
Economique	-5	13 000 k€ HT	Coûts portés par Nartau.
	-3	500 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts
	-1	80 k€ HT	Niveau de notation proportionné aux coûts
	-5	Incertitudes sur les volumes et donc le coût global. Incertitudes sur les coûts de gestion en filière pour Nartau. Incertitude sur le volume à déplacer pour Marty et zone de résidus de fours Forte incertitude sur la contribution et l'hétérogénéité du corps de verse au flux global issu de Ramèle.	Incertitudes majoritairement portées par Ramèle. Incertitude également sur le volume de Nartau à évacuer.
Scoring critères économiques	-3,50		
Scénario complémentaire			
Scoring critères techniques et organisationnels	1,60		
Moyenne critères HSE	-5,00		
Scoring critère économique	-3,50		



La notation de ce scénario complémentaire théorique, établi à des fins de comparaison, montre un très léger gain au niveau des critères techniques et organisationnels à mettre en lien avec le retrait des verses de Nartau. La réduction des flux estimée est en effet très limitée (estimé à environ 2 %) vis-à-vis des scénarios intégrés étudiés précédemment et notamment du scénario 3. Par contre, ce scénario présente de fortes contraintes traduites par des notations très négatives dans le cadre de l'étude des critères HSE. En effet, une production importante de déchets serait à prévoir avec en sus des nuisances et risques associés à la mise en œuvre des travaux d'excavation et de transport. De nombreux camions seront nécessaires pour évacuer, sans objectif de valorisation, les matériaux vers une installation de stockage de déchets, parfois éloignée. Enfin d'un point de vue financier, le surcoût est estimé à environ 4 000 à 5 000 k€ HT par rapport au scénario 3. Ce surcoût est à mettre en perspective également du faible gain théorique d'abattement du flux en As.

7.6 Limites du Bilan Coûts-Avantages

Le BCA constitue un Outil d'Aide à la Décision (OAD) permettant une mise en perspective des enjeux et des réponses opérationnelles pouvant être envisagées au regard des critères décisionnels proposés. Ces réponses, établies sous la forme de scénarios de réhabilitation, notamment à l'échelle de la vallée du Grésillou, ne constituent pas une étude de conception ou de dimensionnement des travaux à exécuter. Le BCA représente donc une étape importante dans la définition des mesures de gestion à mettre en œuvre mais doit être suivi de phases complémentaires (études de faisabilité puis de conception) permettant in fine d'envisager une phase de consultation des entreprises de travaux selon le scénario définitivement retenu.

Ce BCA demeure donc un OAD pour les décideurs qui devront se l'approprier en ajustant éventuellement les pondérations entre critères par rapport aux enjeux et perceptions qui leur sont propres et/ou en modulant les mesures de gestion incluses dans les scénarios intégrés.

8 EVALUATION DES RISQUES RESIDUELS

Les mesures de gestion intégrées au sein des scénarios à l'échelle de la vallée du Grésillou visent à réduire les flux en As dissous et particulaire en direction de l'Orbiel. Elles peuvent agir à différents niveaux composant le risque, à savoir :

- la source par élimination des dangers,
- la source par confinement,
- les voies de transfert.

En sus des actions permettant une réduction du flux, des restrictions d'usages sont proposées pour les cibles identifiées.

Pour chacun des trois scénarios envisagés à l'échelle de la vallée du Grésillou, les modalités spécifiques d'action sur la réduction du risque sont présentées au sein des tableaux suivants.



- **Scénario intégré 1 (N2 + R2 + M1 + F1)**

Tableau 27. Modalités d'action sur les risques pour le scénario intégré 1

Zones sources	Action sur la source par retrait du danger	Action sur la source par confinement	Action sur les voies de transfert (dont vecteurs)	Action sur les cibles - restrictions d'usage et d'accès
Verses de Nartau	-	x	x	x
Verse de Ramèle	-	x (partiel)	x	
Plateforme Marty	x	-	-	
Zone de résidus de fours	x	-	-	
Grésillou	-	-	-	

La réduction globale du flux total à l'échelle de la vallée du Grésillou, sur la base de hypothèses émises est estimée à 88 % (pluies significatives).

- **Scénario intégré 2 (R2 + M2 + F2 + G1)**

Tableau 28. Modalités d'action sur les risques pour le scénario intégré 2

Zones sources	Action sur la source par retrait du danger	Action sur la source par confinement	Action sur les voies de transfert (dont vecteurs)	Action sur les cibles - restrictions d'usage et d'accès
Verses de Nartau	-	-	-	x
Verse de Ramèle	-	x (partiel)	x	
Plateforme Marty	-	x	x	
Zone de résidus de fours	-	x	-	
Grésillou	-	-	x	

La réduction globale du flux total à l'échelle de la vallée du Grésillou, sur la base de hypothèses émises est estimée à 70 % (pluies significatives) avec en sus une disposition complémentaire de gestion des flux particuliers.



- Scénario intégré 3 (N2 + R2 + M2 + F2 + G2)

Tableau 29. Modalités d'action sur les risques pour le scénario intégré 3

Zones sources	Action sur la source par retrait du danger	Action sur la source par confinement	Action sur les voies de transfert (dont vecteurs)	Action sur les cibles - restrictions d'usage et d'accès
Verses de Nartau	-	x	-	x
Verse de Ramèle	-	x (partiel)	x	
Plateforme Marty	-	x	x	
Zone de résidus de fours	-	x	-	
Grésillou	-	-	x	

La réduction globale du flux total à l'échelle de la vallée du Grésillou, sur la base de hypothèses émises est estimée à 90 % (pluies significatives) avec en sus une disposition complémentaire de gestion des flux particuliers.

Une mise à jour des modèles de fonctionnement à l'échelle de la vallée du Grésillou a ainsi été réalisée en considérant la mise en place des mesures de gestion pour chacun des deux scénarios intégrés. Ceux-ci sont présentés au sein des figures en pages suivantes.

Scénario intégré 1 : N2, R2, M1, F1

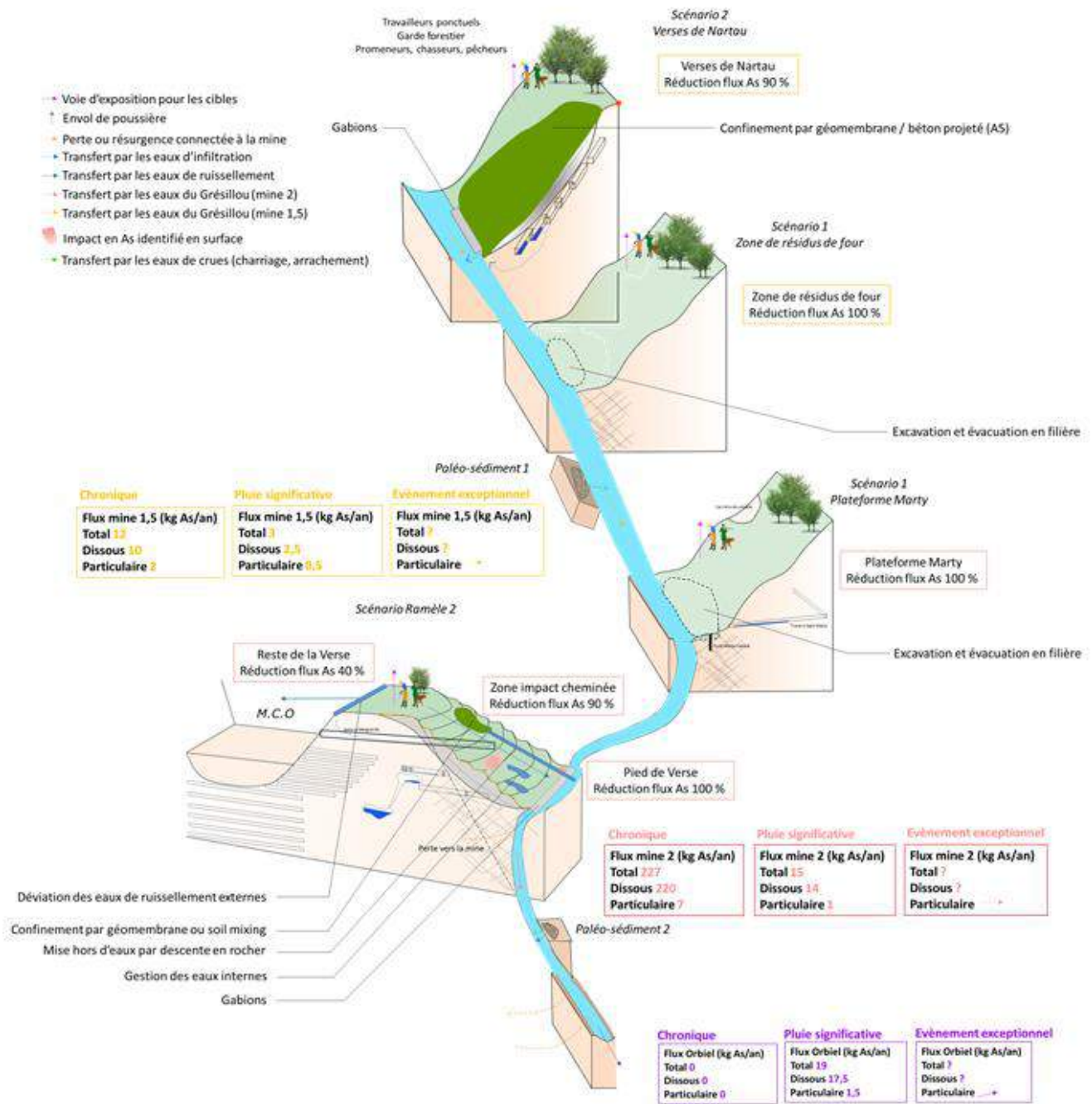


Figure 93. Schéma conceptuel de la vallée après mise en œuvre du scénario intégré 1

Scénario intégré 2 : R2, M2, F2, G1

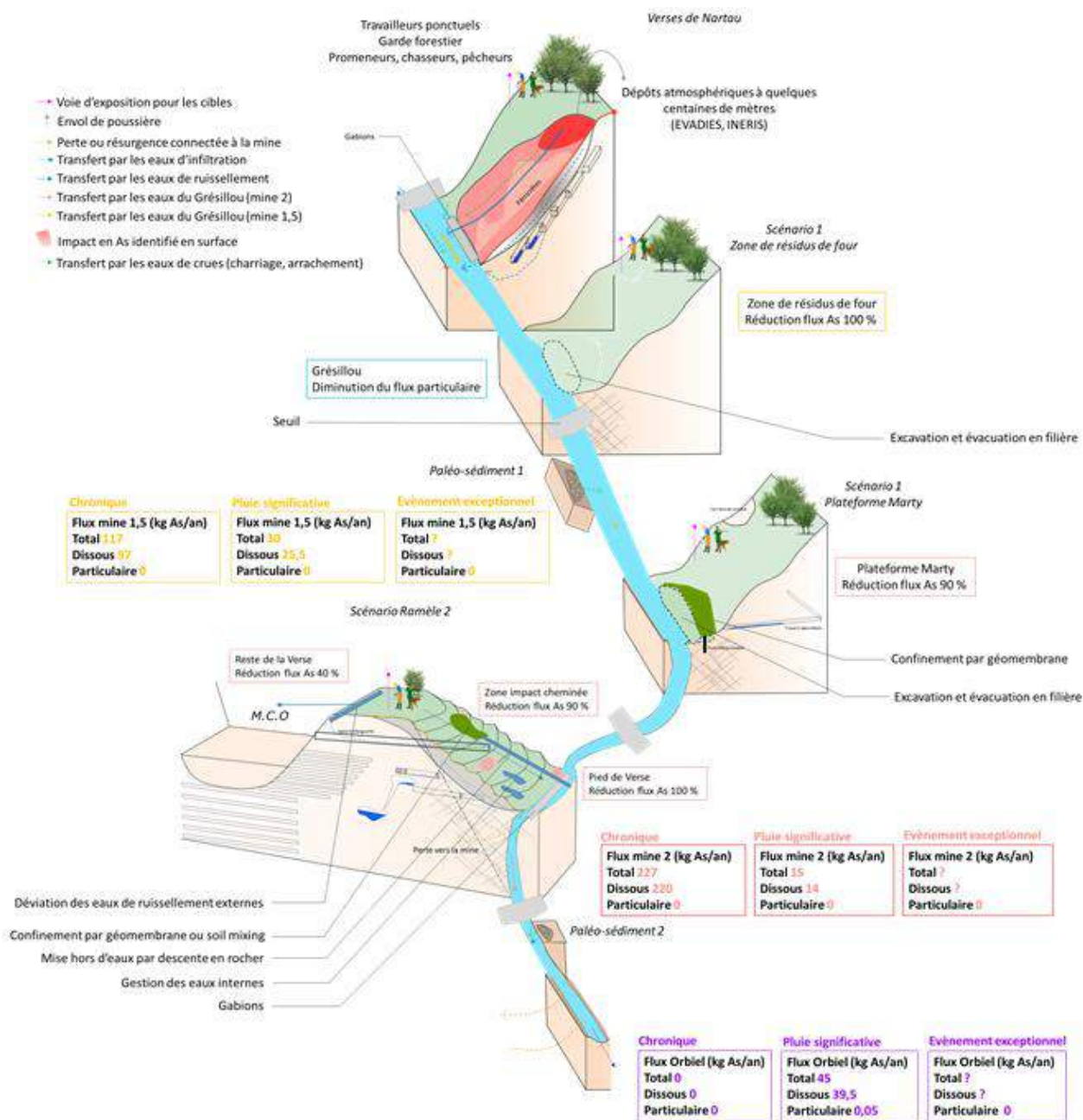


Figure 94. Schéma conceptuel de la vallée après mise en œuvre du scénario intégré 2

Scénario intégré 3 : R2, N2 M2, F2, G2

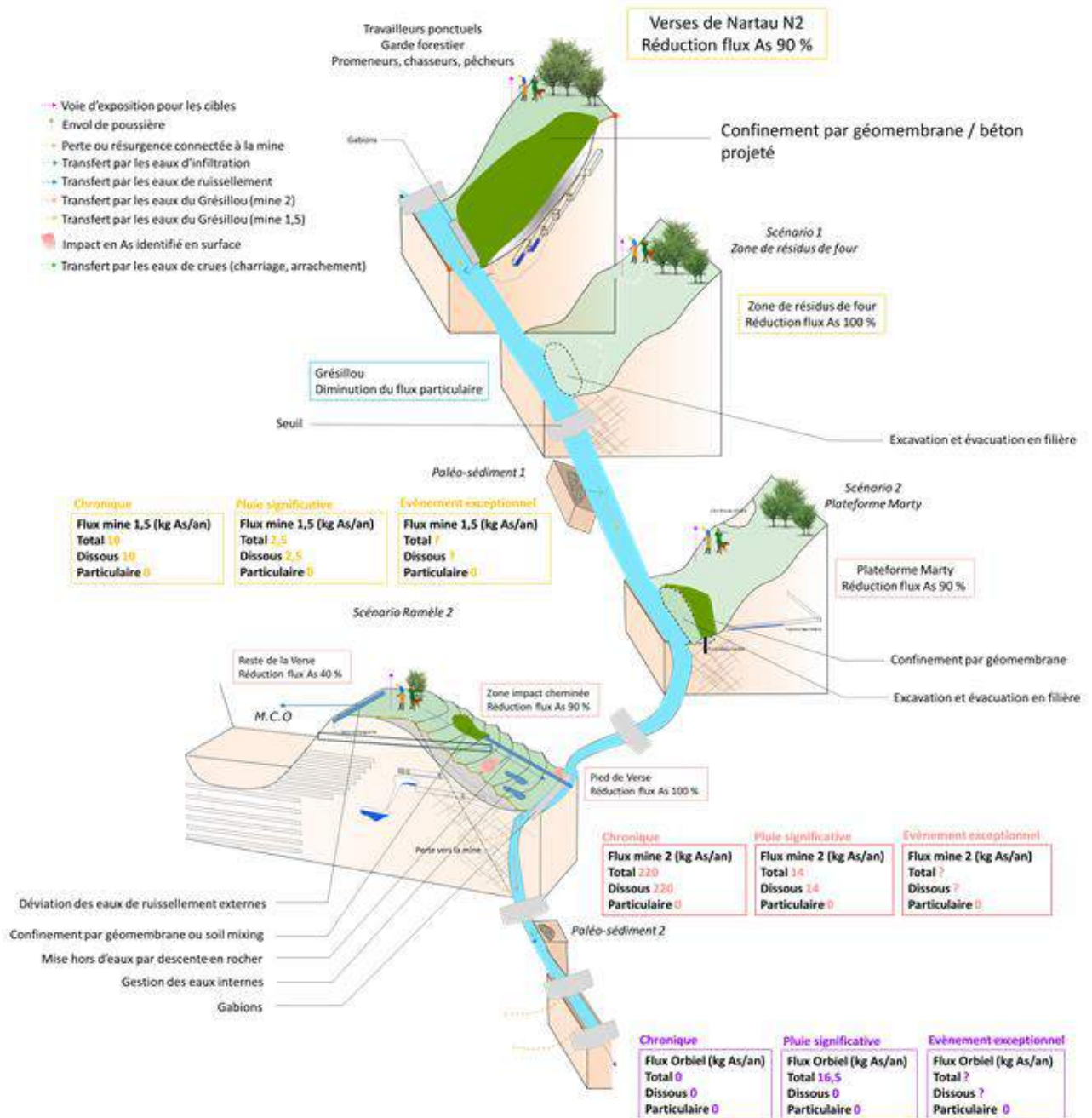


Figure 95. Schéma conceptuel de la vallée après mise en œuvre du scénario intégré 3



9 INCERTITUDES

9.1 Définitions et méthode

Dans un contexte de gestion des sites et sols pollués, chacune des étapes (de la phase documentaire à la définition des solutions de gestion) est accompagnée d'incertitudes inhérentes aux informations disponibles, aux chaînes d'acquisition des données, aux hypothèses formulées et aux méthodes de calcul réalisées. Tout au long de l'étude, les approches choisies ont donc été présentées de manières transparentes et argumentées.

Ce chapitre porte plus particulièrement sur l'étude des incertitudes identifiées, leur impact sur les paramètres clés de l'étude tels que les flux, le choix des scénarios et les coûts associés aux mesures de gestion ainsi que les modalités envisagées afin de les réduire. Cette analyse doit permettre de prendre le recul nécessaire à la bonne interprétation des résultats obtenus et de mettre en lumière les conséquences directes et indirectes sur les conclusions de l'étude.

Cette évaluation des incertitudes a été conduite selon 5 axes :

- **Evaluation du type d'incertitude** : Les incertitudes peuvent être dues à un manque de connaissance ou à la variabilité (hétérogénéité des phénomènes tant spatiale que temporelle). Il en résulte la formulation d'hypothèses ou bien le choix de paramètre par défaut pour palier à un manque de données et/ou par soucis de simplification des phénomènes ;
- **Paramètres impactés** : Il convient d'identifier et recenser les paramètres clés de l'étude potentiellement impactés par l'incertitude,
- **Analyse qualitative** : cette analyse vient qualifier au travers d'un jugement d'expert l'impact du choix réalisé dans l'étude sur les paramètres clés selon 3 situations : majorante, minorante ou réaliste (risque d'écart/erreur modéré) ;
- **Niveaux d'incertitude** : basé également sur un avis d'expert, il permet d'apprécier le niveau d'importance et/ou de la probabilité d'occurrence de l'incertitude et son impact sur le résultat pressenti. Une notation de 1 à 3 a été utilisée, 3 représentant l'importance et/ou la probabilité de survenue les plus importantes.
- **Actions préconisées** : Il s'agit de proposer des moyens à mettre en place dans l'objectif de réduire l'incertitude.

9.2 Evaluation des incertitudes

Le tableau en page suivante reprend l'ensemble des incertitudes identifiées par zones sources et thématiques. Il synthétise l'évaluation selon les 5 axes présentés *supra*.



Tableau 30. Evaluation des incertitudes résiduelles

Zone source / système étudié	Incertitude	Type d'incertitude (Connaissance / hétérogénéité spatiale ou temporelle)		Paramètres impactés				Impacts qualitatifs	Niveaux	Actions complémentaires visant la réduction de l'incertitude
		Origine de l'incertitude	Définition de l'incertitude	Flux	Construction du scénario (dont faisabilité)	Délais	Coûts			
VERSES DE NARTAU	Incertitude sur la profondeur de matériaux de la verse principale de Nartau	Absence de caractérisation verticale des matériaux de la verse principale de Nartau (choix basés à ce stade sur la topographie de la verse et les informations historiques considérées comme suffisamment étayées)	Incertitude sur le niveau d'ancrage du confinement.		X		X	Réaliste	1	Réalisation d'investigations géophysiques au droit de la verse puis d'une étude d'avant-projet.
	Incertitude sur le volume de matériaux constituant la verse principale		Incertitude sur les volumes à évacuer dans le cas du scénario par gestion hors site des matériaux des verses			X	X	Réaliste	2	Caractérisation complémentaire. Mise à jour éventuelle du BCA
VERSE DE RAMELE	Incertitude sur la présence potentielle d'impact en profondeur et sur la forme chimique de l'As présent	Sur la base des connaissances actuelles, l'impact cheminée est le contributeur majoritaire, sa suppression entraîne donc une diminution importante du flux résiduel.	Incertitude sur l'existence potentielle d'autres zones plus en profondeur susceptibles de contribuer au flux d'As dissous au sein de la verse entraînant une incertitude sur les zones cibles d'un système de confinement et/ou de stabilisation	X	X			Minorant	3	Caractérisation complémentaire avec réalisation de sondages en profondeur de 5 à 10 m selon les zones. Mise à jour de l'estimation de contribution des zones sources en As dissous
	Incertitude sur la localisation (drains) et l'importance des flux d'AS dissous par écoulement de sub-surface	Les zones d'écoulements préférentiels de surface n'ont pas été déterminées avec précision ni la localisation précise des écoulements de sub-surface au sein de la verse (par exemple au sein d'anciennes galeries ou plus en profondeur, au droit du socle rocheux de l'ancien Talweg de l'Hort Estiou) contribuant potentiellement à l'apport d'As dissous au sein du Grésillou	Incertitude sur le nombre de dispositifs hydrauliques passifs à mettre en place et leur potentielle efficacité pour la gestion des eaux internes et des dispositifs de confinement à envisager.	X	X			Réaliste	3	Caractérisation complémentaire des matériaux de la verse avec réalisation de sondages, piézomètres et d'essais de perméabilité. Réalisation de mesures géophysiques pour déterminer les zones d'écoulement préférentielles en subsurface. Mise en place de stations de mesures en différents points au sein des eaux du Grésillou en pied de verse de Ramèle. Réalisation d'une étude hydraulique complémentaire sur la base des données acquises. Mise à jour des flux voire du BCA
	Incertitude sur les modalités et l'efficacité attendue de la stabilisation par soil mixing	Analyse théorique de la faisabilité de ce type de traitement	Incertitude sur la faisabilité et le protocole associé à la méthode de traitement par soil mixing		X		X	Réaliste	2	Etude de faisabilité et essais pilote. Mise à jour du scénario associé
Plateforme MARTY	Incertitude sur les volumes des matériaux positionnés en zone inondable et sur la plateforme entière	Le dimensionnement vertical des matériaux de la plateforme a été limité au 50 premiers centimètres	Incertitude sur les volumes à évacuer dans le cas du scénario M1 et source à déplacer hors zone inondable au sein d'un confinement protégé dans le cas du scénario M2.		X		X	Réaliste	3	Caractérisation verticale et horizontale complémentaire des matériaux au droit de la plateforme Marty par le biais de la réalisation de sondages MAJ du BCA
	Incertitude sur la capacité de la plateforme (sans travaux préalables) à servir de plateforme de transit pour les travaux de Nartau	L'hypothèse de la faisabilité de mise en place d'une zone de travaux nécessaire à la mise en œuvre du confinement des verses de Nartau sans évacuations préalables au droit de la plateforme Marty a été retenue dans le cadre du scénario intégré 3 et le scénario test complémentaire	Incertitude sur la faisabilité de mise en œuvre de travaux au droit de la plateforme de Marty sans évacuations préalables de matériaux impactés - Scénario intégré 3		X		X	Réaliste	2	Réalisation d'une étude d'avant-projet. Mise à jour éventuelle du scénario
	Incertitude associée au Travers-banc Marty	Les écoulements préférentiels de sub-surface via notamment le Travers-banc Marty contribuant potentiellement à l'apport d'As dissous au sein du Grésillou	Incertitude sur les mesures de gestion à envisager potentiellement au sein des eaux internes au Travers-banc Marty.	X	X			Réaliste	1	Caractérisation complémentaire des écoulements de sub-surface au droit du Travers-banc Marty
GRESILLOU	Manque de précision sur la contribution de chaque source au flux d'As quantifié par mesures dans le Grésillou selon les événements pluvieux	Nombre de données disponibles selon les événements météorologiques étudiés	Incertitude sur les zones de contribution en terme de flux d'As. L'ajout de stations de mesures a été réalisé lors des études réalisées par ENVISOL en 2020. Le suivi depuis 2010 est réalisé uniquement sur les points Mine 1, 1,5, 2.	X				Réaliste	2	Multiplier et suivre les stations de mesures pour affiner les flux. Mise à jour de la quantification des flux
	Incertitude sur l'occurrence et la variabilité de l'intensité des événements pluvieux significatifs		Incertitude sur les flux lors d'événements pluvieux significatifs. Seuls deux événements pluvieux ont pu être suivis par les préleveurs automatiques mis en place en 2020.	X				Minorant	2	Poursuivre les mesures à partir des préleveurs automatiques lors de pluies significatives. Mise à jour de la quantification des flux associés à ce type d'évènement
Fonctionnement hydrogéologique de la vallée	Incertitude sur l'impact et la répercussion du réchauffement climatique sur le fonctionnement hydrogéologique de la vallée du Grésillou	Equilibres observés actuellement susceptibles d'évoluer au regard du changement climatique en cours (précipitations notamment)	Les modélisations du fonctionnement hydrologique ont été basées sur le climat actuel, le suivi environnemental étant par ailleurs représentatif de ce dernier.	X	X			Minorant	1	Poursuivre le suivi environnemental de la vallée voire si nécessaire reprendre les modélisations du fonctionnement hydrogéologique notamment dans le cas de pluies plus intenses et donc d'une hypothèse de montée des eaux dans la mine.



9.3 Discussion

Il ressort de cette évaluation que les incertitudes résiduelles relèvent de différentes origines. Dans le cadre de la présente étude, le choix d'une analyse qualitative de ces incertitudes a été retenu. Cette démarche permet de mettre en perspective les hypothèses émises, leur incidence sur les choix portés et résultats prédits. Ces éléments sont discutés ci-après.

- Incertitudes liées à la connaissance imparfaite des caractéristiques de certaines zones sources

Les incertitudes liées aux lacunes de connaissances sur la verse de Ramèle représentent un impact potentiellement important sur les flux résiduels en As dissous estimés après travaux selon les scénarios de gestion envisagés sur la verse. En effet, sur la base des hypothèses prises en compte dans l'étude, la zone d'impact cheminée représente une part significative du flux en As dissous identifiée à partir des campagnes de suivi de la qualité des eaux superficielles du Grésillou. Le flux résiduel, à la suite du traitement de cette zone, peut être minoré à ce stade, s'il existe d'autres sources d'As fortement mobilisables au sein de la verse, notamment en profondeur (concernées par les écoulements de subsurface). Ceci a conduit à considérer cette incertitude comme étant majeure : niveau 3, devant nécessairement être réduite par l'acquisition de données complémentaires à partir d'investigations de terrain (milieux sol, eau souterraine, étude géophysique, suivi renforcé du Grésillou sur ce secteur particulier), avant d'arrêter définitivement et dans son intégralité le choix du scénario de gestion de la verse de Ramèle. Ceci concerne notamment la gestion de la seule zone d'impact cheminée ou en sus d'autres secteurs de la verse non encore identifiés. Le cas échéant, et en fonction de l'ampleur des éventuelles zones supplémentaires concernées, des solutions de gestion différenciées pourront être mises en avant. Certaines composantes du scénario défini à ce stade demeurent toutefois valables et non influencées par cette incertitude, telles que le renforcement du pied de la verse et la gestion des eaux externes.

La seconde zone source concernée par des incertitudes liées à la caractérisation des matériaux présents concerne la plateforme Marty. Celle-ci est d'autant plus prégnante dans la perspective d'une gestion hors site impactant de fait l'estimation des coûts associés. Ces incertitudes pourront être réduites par le biais de la réalisation de sondages spécifiques au droit de ce secteur.

Enfin, la connaissance exacte du volume de matériaux au sein de la verse principale de Nartau apparaît moins nécessaire, dans la mesure où leur retrait (scénario N1) a été écarté sur la base du BCA. C'est en effet dans le cadre de la mise en œuvre de ce scénario que la réduction des incertitudes associées au volume exact de la verse a tout son sens. Toutefois, au-delà de ce volume, l'épaisseur des matériaux reste un facteur clé dans le dimensionnement des ancrages dans l'hypothèse d'un confinement de la verse et devra être précisée par méthode géophysique.

- Incertitudes liées à la quantification des flux en As dans le Grésillou (vecteur)

Au-delà des incertitudes portées par la définition des zones sources contributrices de la verse de Ramèle (voir ci-dessus) et les modalités de transfert associées, les quantifications et plus encore les qualifications des flux en As dissous et particuliers présentent des incertitudes en lien avec les hypothèses émises et la méthodologie employée. Elles sont notamment liées à l'hétérogénéité temporelle des phénomènes observés. Celles-ci apparaissent ainsi plus importantes dans le cadre du flux estimé lors d'épisodes de pluie significative du fait d'un jeu de données (mesures par préleveurs automatiques) plus faible à ce stade (2 épisodes de ce type rencontrés lors de cette étude).



Dans l'objectif de réduire ces incertitudes, il apparaît nécessaire de renforcer le suivi des eaux superficielles du Grésillou et notamment lors des événements pluvieux significatifs. Ces mesures permettront d'affiner la quantification des flux et, par conséquent, la validation de l'atteinte des objectifs des travaux qui seront engagés.

Concernant le flux associé aux événements de crue, il paraît plus difficile de les réduire significativement en raison des difficultés techniques associées à la réalisation de prélèvements lors de ces phases aiguës. Ce point est cependant moins problématique du fait de mesures de gestion d'ores et déjà orientées vers une mise en sécurité des zones sensibles au charriage (pied de verse, zone inondable) et ce indépendamment des flux qualifiés.

- Incertitudes liées à la faisabilité de certaines mesures de gestion

Certaines mesures de gestion proposées présentent des incertitudes acceptables à ce stade mais nécessitent une analyse plus approfondie associée à une phase de dimensionnement et à une étude de faisabilité. On peut citer ici le dimensionnement de l'ancrage de la couverture de la verse principale de Nartau, la conception des travaux sur Nartau, la faisabilité des seuils et de celle d'une stabilisation par soil mixing des matériaux de la verse de Ramèle.

Cette phase complémentaire est prévue par la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués et consiste en la mise en œuvre d'essais de terrains et/ou au laboratoire permettant d'affiner les approches envisagées à ce stade. Elles constituent le Plan de Conception des Travaux PCT introduit par cette méthodologie nationale (2017).

De plus, certains travaux envisagés seront soumis à la Loi sur l'eau (IOTA) et seront donc conditionnés par une phase d'instruction statuant ou non sur la recevabilité des aménagements proposés (confortement en pied de verse, seuils...).



10 CONCLUSIONS

La mine de Salsigne a été la plus importante mine d'or d'Europe occidentale et la dernière en France métropolitaine. Divers exploitants se sont succédés jusqu'à l'arrêt définitif de l'exploitation minière en 2004.

Le dernier exploitant, la société MOS (Mine d'Or de Salsigne), a réalisé les travaux de fermeture et de mise en sécurité de la mine de Salsigne et des installations connexes. En parallèle, l'Etat a confié à l'ADEME, en 1999, plusieurs travaux de réhabilitation sur une partie du site de la Combe du Saut, siège des principales installations de traitement du minerai associées à la mine de Salsigne.

Par la suite, une gestion des sites et une surveillance environnementale ont été mises en place à partir de 2006. Elles ont été confiées au DPSM du BRGM par la convention Etat – BRGM du 4 mai 2006. Cette gestion porte sur toutes les installations héritées de la société MOS, les terrains issus des réhabilitations menées par l'ADEME, mais également sur un certain nombre de sites anciens acquis par l'Etat dès 1992, date de création de la société MOS. A partir de cette date, la responsabilité de la société MOS ne s'appliquait donc pas sur ces sites anciens, appelés maintenant « sites exclus » ou « sites satellites ».

Les sites de Nartau et Ramèle, objets de la présente étude, font partie de ces sites dits « exclus » ou « satellites ». Ils sont respectivement partiellement et intégralement constitués de verses, c'est-à-dire de matériaux historiquement dispersés sur la topographie originelle. Les précédentes études sur les éléments majeurs et traces montrent que l'arsenic (As), de par sa toxicité et sa présence en quantité, est le traceur principal des activités anciennes et la problématique majeure de cette étude. Ils sont localisés sur la concession de Villanière (Aude), au nord de l'ancienne mine à ciel ouvert (MCO) au sein du bassin versant du Grésillou. Ce cours d'eau constitue le ruisseau principal de ce bassin versant et se jette dans l'Orbiel.

Dans le cadre de sa mission de maîtrise d'ouvrage déléguée, le BRGM/DPSM a mandaté ENVISOL pour la réalisation d'une étude technico-économique sur les possibilités de gestion de ces deux sites satellites au regard des usages identifiés et de leur impact sur ces derniers. Elle avait pour objectif, sur la base d'une synthèse des données d'ores et déjà disponibles et de données complémentaires acquises lors de cette étude en application d'un principe de proportionnalité, de définir et hiérarchiser des scénarios de gestion des sources de pollution identifiées encore présentes dans la vallée du Grésillou.

D'un point de vue méthodologique, cette étude a été réalisée conformément à la méthodologie nationale relative à la gestion des sites et sols pollués (avril 2017). Cette doctrine est fondée sur la gestion du risque (sanitaire et environnemental) suivant l'usage des milieux environnementaux, en visant une maîtrise des sources et de leurs impacts avec pour priorité leur traitement, principalement lorsqu'elles sont concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées dans l'espace. Elle répond donc au principe de spécificité lié à la situation particulière de chaque site (comportement des polluants concernés, contexte environnemental, usages...). Elle a été divisée en 4 tâches logiques, présentées *infra*, qui ont eu pour objectif d'établir, puis enrichir, le schéma conceptuel de la vallée du Grésillou, constituant un élément fondamental de la compréhension du fonctionnement de la vallée en termes de sources, de transferts et de cibles :

- Tâche 1 : Appropriation du site et de la problématique, études historiques et documentaires, étude de vulnérabilité et établissement du schéma conceptuel initial,
- Tâche 2 : Elaboration d'un programme d'investigations,
- Tâche 3 : Synthèse des données d'investigation et actualisation du schéma conceptuel,
- Tâche 4 : Réalisation d'une étude technico-économique.



Chacune de ces tâches a fait l'objet de rapports spécifiques détaillés (tâche 1, tâches 2 et 3 puis tâche 4), ce document constituant une synthèse globale de l'étude technico-économique.

Au regard de ses spécificités, le secteur d'étude a été découpé en 7 zones d'intérêt présentant des caractéristiques historique, géographique et structurelles spécifiques. Ces zones regroupent les sources potentielles primaires et secondaires suivantes :

- Au droit du secteur de Nartau :
 - ✓ la verse principale et les verses secondaires de Nartau
 - ✓ les bâtiments de Nartau
 - ✓ la zone de résidus de four,
 - ✓ la plateforme Marty
- Au droit du secteur de Ramèle :
 - ✓ la verse de Ramèle
 - ✓ la verse annexe de Ramèle
- Au sein de la vallée du Grésillou :
 - ✓ les sédiments et paléo-sédiments du Grésillou.

Le contexte environnemental établi a notamment permis de mettre en évidence les principaux éléments suivants :

- **Géologie** : la géologie locale, complexe, est constituée de 3 ensembles lithotectoniques (socle métamorphique cambro-ordovicien de schistes (Montagne Noire), nappe du Nord-Minervois cambro-dévonien et nappe du Minervois cambrien, ordovicien et dévonien).
- **Hydrogéologie** : la partie amont du Grésillou ne comporte pas de nappe d'accompagnement au regard du socle imperméable et schisteux au droit duquel il circule. Toutefois, la présence de formations karstiques sous-jacentes à la verse de Ramèle et la géologie faillée du secteur peut induire des connexions hydrauliques en profondeur. Des pertes du Grésillou, en corrélation avec les structures décrochantes et la faille 420 qui recoupent toute la zone, alimentent la zone noyée du réservoir minier.
- **Stabilité des verses** : de par leur caractéristiques, les verses de Nartau et de Ramèle ne présentent pas de risque d'instabilité majeur, seuls des risques de glissements/ravinements/effondrements localisés étant susceptibles de se produire.

Le traitement de l'ensemble des données a confirmé le fait que la pollution métallique présente sur le site d'étude est portée par l'arsenic. Les investigations de 2020 ont permis de caractériser les 7 zones d'intérêts et de déterminer quantitativement et/ou qualitativement les flux d'arsenic vers le Grésillou puis en aval vers l'Orbiel. La synthèse des données sur les sources est présentée ci-dessous.

Secteurs de Nartau	Caractéristiques principales
Verse principale et verses secondaires de Nartau	Concentration maximale en As de 301 g/kg Volume important estimé à 11 900 m ³ Solubilité As limitée Verse globalement stable avec ravinements qui ont déjà emporté quelques dizaines de tonnes Contribution au flux vers l'Orbiel de 20% à l'échelle de la vallée en période de pluie significative



Bâtiments de Nartau	Concentrations maximales en As de 25 g/kg Présence de zone d'écoulements préférentiels au niveau de la piste d'accès menant aux verses de Nartau Contribution au flux vers l'Orbiel non estimée, jugée non significative
Zone de résidus de four	Concentration maximale en As de 14 g/kg Volume restant en zone inondable de 300 m ³ Solubilité As limitée Zone située dans le lit mineur du Grésillou, impactée durant la crue d'octobre 2018 Contribution au flux vers l'Orbiel de 0,2% à l'échelle de la vallée en période de pluie significative
Plateforme Marty	Concentration maximale en As de 72 g/kg Volume estimé (selon hypothèse) à 4000 m ³ Solubilité As limitée Plateforme située en bordure de Grésillou, impactée durant la crue d'octobre 2018 Contribution au flux vers l'Orbiel de 0,1% à l'échelle de la vallée en période de pluie significative

Dans les eaux superficielles, une augmentation de concentrations en arsenic a été observée entre l'amont et l'aval des sources de pollutions primaires avec un impact prépondérant de la verse de Ramèle sur les concentrations en arsenic du Grésillou.

Le flux d'As vers le Grésillou est principalement dissous pendant les périodes d'écoulement chroniques (absence de pluie et pluies faibles) et pendant les périodes d'écoulement lors de pluies significatives (pluies ≥ 100 mm en 3 à 4 jours). Contrairement en période chronique, en période de pluie significative, le flux d'As rejoint l'Orbiel via les eaux superficielles du Grésillou. Il a été estimé que ce flux d'As est porté par Ramèle à 80% et par Nartau à 20%. Lors d'événements climatiques exceptionnels de type crue, des flux particuliers supérieurs à ceux de la situation chronique ont été supposés, par l'observation de zones charriées lors des crues de 2018 et 2020 et au travers de la présence de sédiments impactés dans le lit du Grésillou qui ont été identifiés jusqu'à la confluence de l'Orbiel et attestent ainsi d'un transit vers l'aval d'un flux particulaire significatif.

Un travail de hiérarchisation des zones sources potentielles de pollution a conduit à les classer selon les critères suivants : caractéristiques de la source, flux d'As vers le Grésillou et a permis de cibler les sources sur lesquelles une action de réhabilitation doit être menée en priorité, à savoir :

- la verse de Ramèle, identifiée comme la source la plus contributrice en terme de transfert d'As dissous. Son pied de verse est par ailleurs facilement mobilisable par le Grésillou notamment lors d'épisodes de crues ;
- les verses principale et secondaires de Nartau, contributeur minoritaire du flux en As dissous en direction du Grésillou ;
- la plateforme Marty et zone de résidus de fours, vraisemblablement limitée en volume pour cette dernière, mais localisées partiellement en zone inondable et facilement mobilisable par le Grésillou en phases de crues ;
- les sédiments et paléo-sédiments facilement mobilisables par le Grésillou.



Sur la base des données acquises, un schéma conceptuel de la vallée du Grésillou a été établi permettant d'appréhender le fonctionnement de cette vallée à partir des sources identifiées, des voies de transferts et des cibles recensées. L'analyse de ce schéma établi a conduit à mettre en avant les voies d'exposition issues du transfert via les eaux du Grésillou en direction de l'aval (Orbiel). En effet, les risques induits par les voies d'expositions propres à la vallée du Grésillou (inhalation de poussières et contact direct avec les sols contaminés : ingestion et contact cutané) sont apparus mineurs voire absents compte tenu des restrictions d'usages mises en place et des conclusions de l'étude poussières complétée par l'étude de risques sanitaires réalisée par l'INERIS.

Ainsi, l'objectif visé des actions de gestion a été la réduction du flux d'As vers l'aval via l'unique voie de transfert significative retenue à savoir : le transfert d'arsenic via les eaux superficielles.

Afin d'atteindre cet objectif, des scénarii de gestion ont été construits puis soumis au Bilan Coûts/Avantages (BCA) à l'échelle de chaque zone source majeure (Verse de Ramèle, Verses de Nartau, Zone de Résidus de four, Plateforme Marty et Grésillou et ses sédiments) puis, de manière intégrée, à l'échelle de la vallée.

Préalablement à la conduite du BCA, les techniques de réhabilitation ont été sélectionnées pour traiter l'arsenic du site d'étude car adaptées : au polluant, aux caractéristiques géométriques/accessibilité de chaque zone source, aux enjeux identifiés en lien avec l'état des connaissances actuelles sur le site d'étude. La faisabilité ou non d'une technique de réhabilitation a alors été précisée.

Pour rappel, au stade de la présente étude et de l'état actuel des connaissances, le BCA constitue un outil d'aide à l'orientation en termes de choix de mesures de gestion. Il ne s'agit pas d'une étude de conception et doit être complété par des études / essais complémentaires.

Le BCA a donc été réalisé sur des scénarios de gestion constitués de plusieurs techniques de dépollution complémentaires qui peuvent se succéder dans le temps et être déclinées suivant des seuils/objectifs de réhabilitation variables envisagés. La priorité des scénarios de gestion a été donnée à l'élimination des sources de pollution si les zones sources le permettent et en second lieu à la désactivation des voies de transfert. Ainsi les scénarios N1 (Nartau), R1 (Ramèle), F1 (Zone de résidus de four) et M1 (Marty) ont visé le retrait total ou partiel des sources et les scénarii N2, R2, F2 et M2 leur confinement. Le BCA a pris en compte 3 familles de critères : critères techniques et organisationnels, critères Environnement, Hygiène, Sécurité et critères économiques.

Dans le cas présent, les critères socio-politiques (hors nuisances) et juridiques / normatifs / réglementaires n'ont pas été retenus à ce stade afin de répondre à un objectif de réponse technique et opérationnelle aux enjeux induits par la situation environnementale de la vallée du Grésillou.

Les scénarii suivants ont ainsi été étudiés pour les sources majeures étudiées :

Verse de Ramèle :

Pour la verse de Ramèle, 2 scénarios sont proposés et agissent principalement sur la protection du pied de verse, les voies de transfert (gestion des écoulements d'eaux de ruissellement externes et internes à la verse) ainsi que sur l'inactivation ou le retrait de la zone d'impact de l'ancienne cheminée. Ces scénarios ne permettent pas de traiter l'ensemble de cette source primaire de pollution pour laquelle les incertitudes sur la répartition des matériaux au sein de la verse restent significatives.

Scénario R1 : confortement de pied de verse, gestion des écoulements d'eau par ruissellement externes et internes à la verse et actions de corrections de versant sur les flux sédimentaires, retrait par excavation et évacuation de la zone d'impact cheminée.



Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 8 280 000 €HT + 300 000 €HT pour les dispositions HSE + 10 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Scénario R2 : confortement de pied de versé, gestion des écoulements d'eau par ruissellement externes et internes à la versé et actions de corrections de versant sur les flux sédimentaires, confinement par géomembrane ou stabilisation par sol mixing de la zone d'impact de l'ancienne cheminée.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 2 635 000 €HT + 200 000 €HT pour les dispositions HSE + 10 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

L'accès à la versé de Ramèle restera interdit par le biais de restrictions d'usage (panneaux signalant un accès interdit au public) à la suite des travaux de réhabilitation choisis (maintien de la source de pollution).

Verses de Nartau :

Pour les verses de Nartau, 2 scénarios sont proposés et agissent sur l'ensemble de la zone source par excavation ou confinement.

Scénario N1 : retrait par excavation et évacuation de la source de pollution et gestion des écoulements d'eau par ruissellement et flux sédimentaires durant les travaux.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 7 170 000 €HT + 300 000 €HT pour les dispositions HSE + 2 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Scénario N2 : confinement de la source de pollution et gestion des écoulements d'eau par ruissellement et flux sédimentaires durant les travaux.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : entre 2 250 000 €HT et 3 310 000 €HT + 100 000 €HT pour les dispositions HSE + 10 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

L'accès aux verses de Nartau restera interdit par le biais de restrictions d'usage (panneaux signalant un accès interdit au public) à la suite des travaux de réhabilitation choisis (maintien de la source de pollution).

Plateforme Marty :

Tout comme les verses de Nartau, 2 scénarios sont proposés, et agissent sur l'ensemble de la zone source par excavation et évacuation ou confinement.

Scénario M1 : retrait de la source de pollution par excavation et évacuation de la source de pollution et gestion des écoulements d'eau par ruissellement et flux sédimentaires.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 2 475 000 €HT + 100 000 €HT pour les dispositions HSE.

Scénario M2 : confinement de la source de pollution et gestion des écoulements d'eau par ruissellement et flux sédimentaires durant les travaux.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 516 000 €HT + 50 000 €HT pour les dispositions HSE.

Zone de résidus de four :

2 scénarios sont proposés, et agissent sur l'ensemble de la zone source par excavation ou confinement.

Scénario F1 : retrait par excavation et évacuation de la source de pollution.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 311 000 €HT + 15 000 €HT pour les dispositions HSE.



Scénario F2 : excavation et confinement de la source de pollution sur la plateforme Marty.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 171 000 €HT + 10 000 €HT pour les dispositions HSE + 10 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Grésillou et ses sédiments :

Les deux principaux enjeux pour un cours d'eau étant de limiter l'apport de sédiments vers l'aval ; apport identifié dans le cas du Grésillou, en gérant les phases de crues lors des événements pluvieux significatifs et de traiter les eaux superficielles polluées. Les scénarios de gestion pour le Grésillou présentent donc des actions pratiquées dans les cours d'eau lors des projets de réhabilitation en lien avec d'anciennes activités minières.

Les scénarios de gestion proposés pour le Grésillou sont présentés ci-après.

Scénario G1 : gestion des flux sédimentaires contenus dans les eaux superficielles au niveau des sources primaires.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 2 165 000 €HT + 25 000 €HT pour les dispositions HSE + 35 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Scénario G2 : gestion des flux sédimentaires contenus dans les eaux superficielles jusqu'à la confluence avec l'Orbiel.

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 3 010 000 €HT + 25 000 €HT pour les dispositions HSE + 45 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Les restrictions d'accès au Grésillou (panneaux signalant un accès interdit au public) seront maintenues quel que soit le scénario de gestion envisagé.

Sur cette base, les scénarii intégrés suivants ont été établis et étudiés. Ils se veulent, pour chacun d'entre eux, équilibrés d'un point de vue de l'atteinte des objectifs mais différents en termes d'approche sur les leviers d'action envisagés. En plus du confinement de Nartau (N) et Ramèle (R), le scénario 1 se base sur le retrait des sources de la plateforme Marty et résidus de four pour une action forte sur les transferts d'As particulaire lors des crues. Le scénario 2 renforce les actions sur les transferts majeurs à la fois sur l'As dissous porté par Ramèle et particulaire en confinant les zones sensibles plateforme Marty (M) et résidus de four (F) et ajoutant des seuils dans le Grésillou (G). Le scénario 3 présente une stratégie hybride plus sécuritaire en agissant à la fois sur les sources et les voies de transfert en confinant toutes les sources et en ajoutant les seuils dans le Grésillou en amont et aval.

Scénario intégré 1 : R2, N2, M1, F1

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : entre 7 031 000 €HT et 7 781 000 €HT + 400 000 €HT pour les dispositions HSE + 20 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Scénario intégré 2 : R2, M2, F2, G1

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : 5 067 000 €HT + 400 000 €HT pour les dispositions HSE + 60 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Scénario intégré 3 : R2, N2, M2, F2, G2

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : entre 8 012 000 €HT et 8 862 000 €HT + 400 000 €HT pour les dispositions HSE + 80 000 €HT suivis et entretiens ultérieurs.

Suite à une demande de la maîtrise d'ouvrage, dans le cadre d'une évaluation de l'incidence de l'intégration d'une solution avec retrait des verses de Nartau, un scénario complémentaire a été testé et confronté à la méthodologie du BCA.



Scénario complémentaire : R2, N1, M2, F2, G2

Enveloppe de travaux estimée à ce stade : à 13 000 000 €HT + 500 000 €HT pour les dispositions HSE + 80 000 €HT pour les suivis et entretiens ultérieurs.

Le BCA a permis de mettre en évidence les conclusions suivantes :

Verses de Nartau : les deux scénarios présentent des performances techniques très proches (réduction des flux). La distinction entre les deux réside principalement en le retrait définitif de la source pour le **scénario N1** qui a pour avantage de solutionner définitivement la problématique environnementale liée aux verses mais engendre de très fortes contraintes environnementales (production de déchets, risques de mobilisation de polluant et nuisances associées) et financières ainsi qu'un niveau d'incertitudes plus élevé.

Au regard de ces éléments, le **scénario N2** apparaît, à l'image de la notation établie, comme étant la solution la plus équilibrée.

Verse de Ramèle : La meilleure performance sur le plan technique et organisationnel présentée par le scénario R1 est contrebalancée par des impacts HSE et financiers importants conduisant finalement à mettre en avant le scénario R2. L'orientation entre la solution de couverture et de sol mixing au droit de la zone d'impact cheminée devra par ailleurs être soumise à la mise en œuvre d'études complémentaires de faisabilité, ces 2 approches techniques étant relativement proches sur le plan financier.

Quel que soit le scénario envisagé, il demeurera nécessaire de lever les incertitudes associées à la contribution des matériaux de la verse sur le flux d'As avant toute mise en œuvre de travaux visant spécifiquement la zone d'impact cheminée. Cette levée d'incertitude ne concerne toutefois pas les mesures communes aux deux scénarios : confortement en pied de verse et gestion des eaux externes et internes. Cette incertitude conduit, à ce stade, à noter négativement les 2 scénarios, le scénario R2 présentant tout de même un meilleur résultat.

Plateforme Marty : Les deux scénarios répondent aux objectifs visés en termes de performances techniques (réduction des flux). Le scénario M1 est plus impactant sur les plans HSE et financiers mais devra être étudié, dans le cadre de la gestion globale de la vallée, libérant définitivement la plateforme pour des besoins opérationnels de mise en œuvre de travaux sur les verses de Nartau qui nécessitent pour rappel a minima des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente (critère non discuté à ce stade du BCA). Une étude de faisabilité plus aboutie, pourrait éventuellement venir apporter des solutions techniques permettant de limiter au maximum les évacuations préalables nécessaires et ainsi permettre un confinement d'une partie des matériaux de la plateforme dans un contexte de travaux sur les verses de Nartau.

Au regard de ces éléments, le scénario M2 apparaît, au regard de la notation établie, comme étant la solution la plus équilibrée pour la zone considérée seule.

Zone de résidus de four : Dans les deux cas étudiés, la zone de résidus de fours est évacuée. Le premier scénario permet de résoudre définitivement la problématique associée aux résidus avec une évacuation hors site, mais avec le désavantage de produire des déchets, demeurant toutefois limités en termes de volume. Le scénario F2 ne peut être envisagé que sous la condition de mise en œuvre d'un confinement au droit de la plateforme Marty (scénario M2), ayant pour effet en cascade, de potentielles contraintes sur les possibilités d'actions sur les verses de Nartau, des travaux d'aménagement et de protection des matériaux de la plateforme sous-jacente étant *a minima* à opérer dans cette perspective.



Compte tenu d'approches assez analogues et des volumes limités de matériaux, les notes globales des deux scénarios étudiés sont très similaires. La gestion de cette source est fortement influencée soit par le volume limité de résidus associé à cette source (choix orienté vers l'élimination) soit par les mesures de gestion à envisager au droit de la plateforme Marty et des verses de Nartau (choix du confinement sur site).

Grésillou et ses sédiments : Les deux scénarios présentent des résultats très similaires et neutres. La décision portera sur la stratégie retenue in fine et les objectifs en termes de gestion des sédiments (préventive en aval des source et/ou corrective avec une gestion supplémentaire des sédiments déjà générés et transportés à l'aval).

Scénarios intégrés à l'échelle de la vallée : Les notations des trois scénarios intégrés à l'échelle de la vallée du Grésillou sont apparues fortement marquées par les incertitudes résiduelles associées à la part de la contribution de la zone d'impact cheminée et l'hétérogénéité éventuelle de la verse de Ramèle. En conséquence, les notes obtenues pour chacun des trois scénarios demeurent négatives avec toutefois une évaluation globale plus favorable au scénario intégré 2. Ce résultat est à relier avec des contraintes HSE et des coûts moindres pour ce second scénario.

Il est à noter que le scénario intégré 1, et plus particulièrement la mise en œuvre d'une mesure de gestion des verses de Nartau, est fortement contraint par le choix, pour faciliter ces travaux, d'évacuer hors site les matériaux de la plateforme Marty et par conséquent, et dans une moindre mesure au regard du volume concerné, de la zone de résidus de fours. Une étude de faisabilité plus aboutie, pourrait éventuellement venir apporter des solutions techniques permettant de limiter au maximum les évacuations préalables nécessaires et ainsi permettre un confinement d'une partie des matériaux de la plateforme dans un contexte de travaux sur les verses de Nartau. Ceci viendrait donc conforter la faisabilité en l'état du scénario intégré 3 qui apparaît comme étant le plus sécurisé en termes d'atteinte des objectifs.

L'étude d'un scénario complémentaire théorique intégrant le retrait des verses de Nartau apparaît très déséquilibré avec, pour un très léger gain au niveau des critères techniques et organisationnels, de fortes contraintes HSE et économiques.

L'acquisition de données complémentaires de caractérisation des zones sources et notamment de Ramèle et la réalisation d'un Plan de Conception des Travaux (PCT) intégrant des essais de faisabilité, pourra permettre une consolidation de ce BCA, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. La surveillance du Grésillou devra être poursuivie avec un renforcement des points de mesures notamment sur le secteur Ramèle.

Cette situation ne remet toutefois pas en cause la possibilité d'engager certaines mesures de gestion, y compris au droit de la verse de Ramèle (confortement du pied de la verse, gestion des eaux externes et internes), tout en réalisant les investigations complémentaires nécessaires à la levée des incertitudes résiduelles.

Des mesures complémentaires aux scénarios devront être mises en œuvre : maintien des restrictions d'accès aux galeries (ouvrages débouchant au jour) et aux verses dans leur globalité sont maintenues (panneaux signalant un accès interdit au public), un suivi sanitaire des produits de la chasse (gibier) et des végétaux autoproduits au sein de la vallée de l'Orbiel (zone de crue) et poursuite du suivi environnemental à l'échelle de la vallée (eaux superficielles et sédiments).



Annexe 1. Normes et textes réglementaires applicables



Normes et textes réglementaires applicables

Cette étude a été réalisée conformément à la norme NFX 31-620-2 « Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle » de décembre 2018 et plus particulièrement aux prestations A100, A130, A200, A210, A220, A270, et A330.

Au-delà de la méthodologie nationale et de la norme NFX 31-620-2, les guides et outils suivants ont été utilisés :

- Le guide de l'ADEME et de l'UPDS relatif à l'élaboration des bilans coûts-avantages adaptés aux contextes de gestion des sites et sols pollués de mars 2017 ;
- Le guide du BRGM RP-58609-FR de 2010 : Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts bénéfiques ;
- Le guide du ministère en charge de l'environnement et de la Direction Générale de la Prévention des Risques en date de janvier 2011 : Guide de mise en œuvre des restrictions d'usage applicables aux sites et sols pollués ;
- Le guide du BRGM RP-63675-FR d'août 2014 : Guide sur les mesures constructives ;
- L'Outil interactif de pré-sélection des techniques de dépollution et des mesures constructives SelecDEPOL établi par l'ADEME et le BRGM : www.selecdepol.fr ;
- Le cahier des charges établi par le BRGM/DPSM (Département Prévention et Sécurité Minière, UTAM SUD) d'octobre 2018 ;
- Le code de l'environnement, nomenclature « eau » au 17 février 2021 - article 214-1.

Les normes de référence relatives aux investigations menées utilisées ont été :

- NF EN ISO 5667-3 de 2018 – Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 3 : lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau,
- ISO 5667-6 de 2016 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 6 : lignes directrices pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau,
- FD T90-523-1 de 2008 - Qualité de l'eau - Guide de prélèvement pour le suivi de qualité des eaux dans l'environnement - Partie 1 : prélèvement d'eau superficielle,
- PR FD T90-523-1 de 2019 - Qualité de l'eau - Guide de prélèvement pour le suivi de qualité des eaux dans l'environnement - Partie 1 : Échantillonnage d'eau en rivières et canaux,
- NF EN ISO 5667-15 de 2009 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 15 : lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments,
- ISO 5667-12 de 2017 - Qualité de l'eau. Échantillonnage. Partie 12 : Recommandations concernant l'échantillonnage dans les rivières, les lacs et les estuaires,
- NF EN 12341 de 2014 - Air ambiant — Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension,
- CEN/TS 14405 de 2017 - Caractérisation des déchets - Essais de comportement à la lixiviation - Essai de percolation à écoulement ascendant (dans des conditions spécifiées).

D'une manière générale, la présente étude s'est référée aux normes, recommandations et état de l'art en vigueur à la date de réalisation de l'étude pour les missions demandées.