



INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers d'uranium du Morbihan et du Finistère

RT/PRP-DGE/2017-00010

Pôle radioprotection, environnement, déchets
et crise

Service d'expertise des déchets radioactifs et de la radioactivité naturelle

SOMMAIRE

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DES CONTROLES DE SECOND NIVEAU	13
2 METHODE	14
3 MATERIEL ET TECHNIQUES DE MESURES	15
4 ENSEIGNEMENTS TIRES DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE (ETAPE 1)	16
4.1 GENERALITES SUR LES ANCIENS SITES MINIERES DU MORBIHAN ET DU FINISTERE.....	16
4.2 NATURE DES TRAVAUX D'EXPLOITATION ET PRODUCTIONS ASSOCIEES	19
4.3 SITUATIONS RELATIVES AU TRAITEMENT DES EAUX	20
4.4 SITUATIONS RELATIVES A LA SURVEILLANCE DES SITES EFFECTUEE PAR AREVA MINES	21
4.5 ELEMENTS RETENUS POUR LA SELECTION DES SITES A VISITER.....	21
5 ENSEIGNEMENTS TIRES DES VISITES DE TERRAIN (ETAPE 2)	24
5.1 SITUATION ACTUELLE DES SITES INVESTIGUES LORS DES CONTROLES DE SECOND NIVEAU	25
5.1.1 Site de Prat Mérien.....	25
5.1.2 Site de Poulprio.....	27
5.1.3 Site du Moulin de Brodimon.....	30
5.1.4 Site de Kerler	32
5.1.5 Site de Bonote	35
5.1.6 Site de Rosglas	38
5.1.7 Site de Salle Ponto	41
5.1.8 Site de Mane Mabo	43
5.1.9 Site de Ty Gallen	45
5.2 IMPACT DES ANCIENS SITES MINIERES EN CHAMPS ELOIGNE	49
6 CONCLUSIONS	51
7 BIBLIOGRAPHIE.....	53
8 ANNEXE.....	54

Liste des figures

Figure 1 : Cartes de localisation des anciens sites miniers du Morbihan et du Finistère issues de la base de données MIMAUSA [10] (fonds de carte OpenStreetMap [11]).....	17
Figure 2 : Localisation des anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan dans les bassins versants des rivières l'Ellé, Le Scorff, Le Blavet et de La Penfeld (fonds de carte scan 1/25000 ©IGN).....	18
Figure 3 : Superficies (en hectare) des anciens sites miniers d'uranium du Finistère et du Morbihan (d'après le BE [2]).....	19
Figure 4 : Uranium métal extrait (en tonnes) sur les anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan (d'après le BE [2]).....	19
Figure 5 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN (en 2015 et en 2009) sur le site de Prat Mérien (localisation sur plan cadastral [2])	25
Figure 6 : Schéma de localisation des prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Prat Mérien et résultats des analyses associées (données Areva Mines [2, 12] et IRSN 2009 [7] et 2015).....	26
Figure 7 : Situation des travaux miniers du site de Poulprio ainsi que le circuit des eaux pendant l'exploitation (localisation sur plan cadastral [2])	28

Figure 8 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Poulprio (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015).	29
Figure 9 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN en 2015 sur le site du moulin de Brodimon et dans son environnement proche (localisation sur plan cadastral [2])	31
Figure 10 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Kerler (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015). Les résultats associés à l'ensemble des prélèvements effectués sont détaillés en Annexe 7.	33
Figure 11 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN en 2015 dans l'environnement proche du site de Bonote (sur fond Géoportail ©IGN [4], tracé des travaux miniers ©Areva Mines).....	35
Figure 12 : Schéma de localisation et résultats associés des prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Bonote (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015).	36
Figure 13 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN en 2015 sur le site de Rosglas et dans son environnement proche (localisation sur plan cadastral [2])	39
Figure 14 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Rosglas (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2015). Les résultats associés à l'ensemble des prélèvements effectués sont détaillés en Annexe 9	39
Figure 15 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur le site de Salle Ponto avec l'outil MARCASSIN ; localisation de la plateforme en stériles (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)	42
Figure 16 : Schéma de localisation et résultats associés des prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Mane Mabo (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015).....	44
Figure 17 : Situation des travaux miniers du site de Ty Gallen ainsi que du circuit des eaux pendant l'exploitation sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	46
Figure 18 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Ty Gallen (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015). Les résultats associés à l'ensemble des prélèvements effectués sont détaillés en Annexe 12.....	47
Figure 19 : Localisation de l'ensemble des points de prélèvement hors influence minière (sur fond Géoportail ©IGN [4]).....	64
Figure 20 : Localisation des points de prélèvement hors influence minière - A à E - détails sur la localisation des points (sur fond Géoportail ©IGN [4])	65
Figure 21 : Principaux bassins versants associés à une partie des anciens sites miniers du Morbihan, du Finistère et des Côtes d'Armor (d'après une figure Areva Mines [2]).....	69
Figure 22 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le Scorff en aval total des sites miniers localisés dans le bassin versant du Scorff (sur fond Géoportail ©IGN [4]).....	70
Figure 23 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant du ruisseau du Chapelain en aval éloigné des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4]).....	72
Figure 24 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant des ruisseaux du Kerustang et du Landordu en aval éloigné des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4]).....	75
Figure 25 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en juin 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant du ruisseau de Kerloas en aval total des sites miniers Kerales, Roscorbel et Rosglas (sur fond Géoportail ©IGN [4])	77

Figure 26 : Localisation des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant du ruisseau de Kerlnevez en aval total des sites miniers de Poulbet et Kerjean (sur fond Géoportail ©IGN [4])	79
Figure 27 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant de l'Ellé en aval éloigné des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])	81
Figure 28 : Localisation des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le Blavet en aval total des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])	83
Figure 29 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans la Sarre en aval total des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])	84
Figure 30 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2011-2013 en aval du site Keryacunff (sur fond Géoportail ©IGN [4])	86
Figure 31 : Localisation des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en juin 2015 dans le bassin versant de la Penfeld (sur fond Géoportail ©IGN [4])	88
Figure 32 : Vue aérienne du site de Prat Mérien, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	91
Figure 33 : Situation des travaux miniers du site de Prat Mérien sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	92
Figure 34 : Photographies des travaux miniers de Prat Mérien avant et en cours de réaménagement ; A-MCO de Prat Mérien en eau, B-Zone de stockage des stériles miniers après réaménagement de la MCO et décaissement de la zone, C- MCO de Prat Mérien en cours de vidange (source M. Jarno)	93
Figure 35 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Prat Mérien ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	94
Figure 36 : Usages constatés sur le site de Prat Mérien en 2015 (sur plan cadastral source [2])	95
Figure 37 : Photographies du site de Prat Mérien (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN).....	96
Figure 38 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site de Prat Mérien avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines).....	98
Figure 39 : Localisation des points de prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche de Prat Mérien (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN 2009 [7])	99
Figure 40 : Photographie du point de prélèvement d'eau dans le ruisseau du Chapelain (56E_CHA_B2, photographie ©IRSN).....	99
Figure 41 : Localisation du point de prélèvements de sols effectués par l'IRSN en 2009 sur le site de Prat Mérien (sur fond Géoportail ©IGN [4], donnée IRSN [7])	101
Figure 42 : Vue aérienne du site de Poulprio, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	104
Figure 43 : Situation des travaux miniers du site de Poulprio sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	105
Figure 44 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Poulprio ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	106
Figure 45 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site de Poulprio en 2015 (sur plan cadastral [2])	107
Figure 46 : Photographies du site de Poulprio (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN).....	108
Figure 47 : Plan compteur du site Poulprio et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31]	109
Figure 48 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site de Poulprio avec l'outil MARCASSIN : Vue générale (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines).....	110
Figure 49 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site de Poulprio avec l'outil MARCASSIN : A-Zoom sur les travaux miniers (descenderie, montage), B-Zoom sur la zone marécageuse et l'ancien bassin de décantation (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)	111
Figure 50 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Poulprio (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7]).....	112

Figure 51 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments IRSN, A- Ecoulement drainant la parcelle 13 (Echantillon 56E_POP_RUB1), B - Ruisseau en aval de Poulprio (56E_POP_RUB2 et 56S_POP_RUB2, photographies ©IRSN).	113
Figure 52 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Poulprio (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN [7])	116
Figure 53 : Photographies des points de prélèvement des échantillons 56S_POP_T1A, 56S_POP_T1B, 56S_POP_T2A et 56S_POP_T2B (photographies ©IRSN)	116
Figure 54 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012 et l'IRSN en 2015	117
Figure 55 : Vue aérienne du site du Moulin de Brodimon, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	120
Figure 56 : Situation des travaux miniers du site du Moulin de Brodimon sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	121
Figure 57 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier du Moulin de Brodimon ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	122
Figure 58 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site du Moulin de Brodimon en 2015 (localisation des usages sur plan cadastral [2])	123
Figure 59 : Photographies du site du Moulin de Brodimon (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN et ©Areva Mines [2])	124
Figure 60 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site du Moulin de Brodimon avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)	125
Figure 61 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du Moulin de Brodimon [2] (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])	126
Figure 62 : Photographie du point de prélèvement d'eau et de sédiments réalisé par l'IRSN dans le Scorff (56E_MDB_B et 56S_MDB_B, photographie ©IRSN)	126
Figure 63 : Vue aérienne du site de Kerler, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	130
Figure 64 : Situation des travaux miniers du site de Kerler sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	131
Figure 65 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Kerler ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	132
Figure 66 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site de Kerler en 2015 (localisation des usages sur plan cadastral [2])	133
Figure 67 : Photographies du site de Kerler (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)	133
Figure 68 : Plan compteur du site de Kerler et de son environnement proche réalisé par Areva mines en 2012 [31]	135
Figure 69 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Kerler avec l'outil MARCASSIN ; A-Vue générale du site, B-Zoom sur la parcelle 84 concernée par le circuit des eaux d'exhaure (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)	136
Figure 70 : Localisation des points de prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site Kerler et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])	137
Figure 71 : Photographie du point de prélèvements d'eau et de sédiments IRSN dans le ruisseau de Kerustang (56E_KER_RUB et 56S_KER_RUB, photographie IRSN)	138
Figure 72 : Localisation des points de prélèvements de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site Kerler et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN)	139
Figure 73 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site Kerler et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN [7])	140
Figure 74 : Photographie des prélèvements 56S_KER_T1 et 56S_KER_T2 réalisés par l'IRSN en 2015 (photographies ©IRSN)	140

Figure 75 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012 et l'IRSN en 2015	142
Figure 76 : Vue aérienne du site de Bonote, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	144
Figure 77 : Situation des travaux miniers du site de Bonote sur plan cadastral (source Areva Mines [2]).....	145
Figure 78 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Bonote : à gauche vue générale, à droite zoom autour du site ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4]).	146
Figure 79 : Usages développés sur le site de Bonote et dans son environnement proche observés en 2015 (localisation des usages sur fond Géoportail ©IGN [4])	147
Figure 80 : Photographies du site de Bonote (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)	147
Figure 81 : Plan compteur du site de Bonote et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31] (zoom à droite)	148
Figure 82 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Bonote avec l'outil MARCASSIN ; A-Vue générale, B-Zoom sur le site, C-Zoom sur une des parcelles concernée par le circuit des eaux d'exhaure (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines).....	150
Figure 83 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines dans l'environnement du site de Bonote (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])	151
Figure 84 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments de l'IRSN dans l'environnement proche du site de Bonote (photographies ©IRSN).....	152
Figure 85 : Localisation et photographie de l'échantillon de sol 56S_BON_T1 prélevé sur la parcelle N 9 en bordure du ruisseau n 3 (localisation sur fond Géoportail ©IGN [4], photographie ©IRSN)	155
Figure 86 : Vue aérienne du site de Rosglas, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	157
Figure 87 : Situation des travaux miniers du site de Rosglas sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	158
Figure 88 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Rosglas, A-vue générale et B-zoom sur l'environnement proche du site ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4]) .	159
Figure 89 : Photographies du site de Rosglas et de l'environnement proche en 2015 (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN).....	160
Figure 90 : Usages constatés du site de Rosglas et de son environnement proche en 2015 (localisation des usages et des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)	161
Figure 91 : Plan compteur du site de Rosglas et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31].....	162
Figure 92 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Rosglas avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)....	164
Figure 93 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Rosglas avec l'outil MARCASSIN ; A-Zoom sur le site, B-Zoom sur le chemin concerné par le circuit des eaux d'exhaure (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines).....	165
Figure 94 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche de Rosglas (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])	166
Figure 95 : Photographies des points de prélèvements d'eau de l'IRSN, A- Etang n°1 (Echantillon 56E_ROS_ETG1), B-Ruisseau en aval proche du site (Echantillon 56E_ROS_RUB), C- Ruisseau en aval éloigné du site (56E_ROS_RUB1) (photographies ©IRSN)...	167
Figure 96 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN, Areva Mines et SDNC/CRIIRAD en champ proche du site de Rosglas (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [3131], IRSN [7] et SDNC/CRIIRAD [6])	171
Figure 97 : Photographie des échantillons 56S_ROS_T1 et 56S_ROS_T2 prélevés par l'IRSN en 2015 (photographies ©IRSN)	171
Figure 98 : Photographie du point de prélèvement de l'échantillon 56S_ROS_RUB (photographies ©IRSN).....	172

Figure 99 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012, l'IRSN en 2015 et SDNC/CRIIRAD en 2008 au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure	174
Figure 100 : Vue aérienne du site de Salle Ponto, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	177
Figure 101 : Situation des travaux miniers du site de Salle Ponto sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	178
Figure 102: Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Salle Ponto ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	179
Figure 103 : Photographies du site de Salle Ponto et de l'entrée du travers-banc en 2015 (photographies ©IRSN)	180
Figure 104 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur le site de Salle Ponto avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)	181
Figure 105 : Localisation des points de prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Salle Ponto (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2])	182
Figure 106 : Photographies des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en champ proche de du site de Salle Ponto (photographies ©IRSN)	183
Figure 107 : Vue aérienne du site de Mane Mabo, en jaune l'emprise du site (sur fonds Géoportail ©IGN [4])	185
Figure 108 : Situation des travaux miniers du site de Mane Mabo sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	186
Figure 109 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Mane Mabo ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	187
Figure 110 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site de Mane Mabo observés par l'IRSN en 2015 (localisation des usages sur plan cadastral [2])	188
Figure 111 : Photographies du site de Mane Mabo (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)	189
Figure 112 : Plan compteur du site de Mane Mabo et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2011 et 2013 [31]	190
Figure 113 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et en environnement proche du site de Mane Mabo avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN)	191
Figure 114 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Mane Mabo (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])	192
Figure 115 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments de l'IRSN dans le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site de Mane Mabo (56E_MMA_RUB1, 56S_MMA_RUB1 et 56E_MMA_RUB2, photographies ©IRSN)	192
Figure 116 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site de Mane Mabo et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN [7])	194
Figure 117 : Vue aérienne du site de Ty Gallen, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])	197
Figure 118 : Situation des travaux miniers du site de Ty Gallen sur plan cadastral (source Areva Mines [2])	198
Figure 119 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Ty Gallen : A - Vue générale, B - Zoom sur le site de Ty Gallen ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])	199
Figure 120 : Photographies du site de Ty Gallen (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN) ..	200
Figure 121 : Photographies et usages constatés en 2015 du site de Ty Gallen et de son environnement proche (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN)	201
Figure 122 : Photographies du hameau de Guern en Tal réalisées en 2015 (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN)	202
Figure 123 : Plan compteur du site Ty Gallen et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31]	203
Figure 124 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur et dans l'environnement proche du site de Ty Gallen avec l'outil MARCASSIN et avec la sonde gamma; A et B-Vue générale (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN) ..	204

Figure 125 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur et dans l'environnement proche du site de Ty Gallen avec l'outil MARCASSIN : A-Zoom sur la zone du talus, B-Zoom sur l'exutoire des eaux d'exhaure et la zone humide (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN)	205
Figure 126 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche de Ty Gallen (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN [7]).....	207
Figure 127 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments IRSN, A- Ruisseau n°2 drainant la zone humide (Echantillon 56E_TYG_ZMB), B et C -Ruisseau du Brulé en aval de Ty Gallen (56E_BRU_B1, 56S_BRU_B1, 56S_BRU_B2 et 56E_BRU_B2) (photographies ©IRSN)	209
Figure 128 : Photographies A- Ruisseau n°2 localisé en aval de la zone humide, point de prélèvements du sédiment 56S_TYG_RUB1, B- Echantillon 56S_TYG_RUB1 (photographies ©IRSN)	211
Figure 129 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par Areva Mines, l'IRSN et RozGlas sur et en champ proche de Ty Gallen (sur fond Géoportail ©IGN [4], d'après [31])	213
Figure 130 : Photographies du point de prélèvement des échantillons 56S_TYG_ZM1A et 56S_TYG_ZM1B (photographies ©IRSN)	213
Figure 131 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012, RozGlas/CRIIRAD en 2009 et l'IRSN en 2015.....	215

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nature des travaux d'exploitation minière, superficies des sites et tonnages de minerai et d'uranium produits ; en orange les données manquantes dans le bilan Environnemental (d'après le BE [2]).....	20
Tableau 2 : Caractéristiques des sites et de leur environnement prises en compte par l'IRSN pour l'élaboration du programme prévisionnel de contrôle de second niveau (d'après le BE [2], [12] et [31])	22
Tableau 3 : Résultats des mesures physico-chimiques <i>in situ</i> réalisées au niveau des points de prélèvement d'eau et de sédiments hors influence des sites miniers du Morbihan et du Finistère.....	66
Tableau 4 : Résultats des analyses radiologiques (uranium et radium 226) effectuées par l'IRSN sur la fraction totale des eaux prélevées hors influence des sites miniers du Morbihan et du Finistère	66
Tableau 5 : Résultats des analyses réalisées par l'IRSN sur les sédiments prélevés hors influence des sites miniers du Morbihan et Finistère.....	67
Tableau 6 : Gamme de valeurs ou valeur pour l'uranium, l'uranium 238 et le radium 226 dans les sols issue de quelques sources bibliographiques	67
Tableau 7 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées dans le Scorff en aval total des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Scorff.....	71
Tableau 8 : Résultats de l'analyse des sédiments prélevés au point SCORFF B par Areva Mines en 2012-2013.....	71
Tableau 9 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2011-2013 et l'IRSN sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Chapelain	73
Tableau 10 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant du Chapelain.....	74
Tableau 11 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans les bassins versants du Kerustang et du Landordu	76
Tableau 12 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 sur les sédiments prélevés dans les bassins versants du Kerustang et du Landordu	76
Tableau 13 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN en juin 2015 et Areva Mines en 2012-2013 sur les prélèvements d'eaux réalisés en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Kerloas	78

Tableau 14 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant du Kerloas	78
Tableau 15 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Kernevez	80
Tableau 16 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant de l'Ellé	81
Tableau 17 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant de l'Ellé	82
Tableau 18 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées dans le Blavet en aval total des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Blavet.....	83
Tableau 19 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées dans La Sarre en aval total des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant de la Sarre	85
Tableau 20 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant de la Sarre	85
Tableau 21 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2011-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval du site de Keryacunff	87
Tableau 22 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés en aval du site de Keryacunff	87
Tableau 23 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN en juin 2015 sur les prélèvements d'eaux réalisés en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant de la Penfeld	89
Tableau 24 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Prat Mérien [2]	97
Tableau 25 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Prat Mérien	100
Tableau 26 : Résultats de l'analyse du sol prélevé par l'IRSN sur le site de Prat Mérien en 2009 [7]	102
Tableau 27 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Poulprio [2]	109
Tableau 28 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Poulprio	113
Tableau 29 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés aux abords du site de Poulprio	115
Tableau 30 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sols prélevés sur le site de Poulprio et en champ proche	117
Tableau 31 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site du Moulin de Brodimon [2] .	124
Tableau 32 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site du Moulin de Brodimon	127
Tableau 33 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN sur les sédiments prélevés au point 56S_MDB_B	127
Tableau 34 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Kerler [2]	134
Tableau 35 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Kerler ..	138
Tableau 36 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés aux abords du site de Kerler	139
Tableau 37 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sols prélevés sur le site de Kerler et en champ proche	141
Tableau 38 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Bonote [2]	148
Tableau 39 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Bonote .	152

Tableau 40 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés en champ proche du site de Bonote	154
Tableau 41 : Résultats de l'analyse du sol prélevé par l'IRSN en champ proche de Bonote	155
Tableau 42 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Rosglas [2]	162
Tableau 43 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Rosglas.	168
Tableau 44 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et SDNC/CRIIRAD sur les sédiments prélevés en champ proche du site de Rosglas	169
Tableau 45 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines, l'IRSN et SDNC/CRIIRAD sur les sols prélevés en champ proche du site de Rosglas	173
Tableau 46 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2012 sur le site de Salle Ponto [2].....	180
Tableau 47 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Salle Ponto	183
Tableau 48 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Mane Mabo [2]	189
Tableau 49 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Mane Mabo [2, 7, 12]	193
Tableau 50 : Résultats de l'analyse des sédiments prélevés par l'IRSN en aval du site de Mane Mabo au point 56S_MMA_RUB1	194
Tableau 51 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sols prélevés sur le site de Mane Mabo et en champ proche	195
Tableau 52 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Ty Gallen [2].....	202
Tableau 53 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Ty Gallen	208
Tableau 54 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés en champ proche du site de Ty Gallen.....	211
Tableau 55 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines, l'IRSN et RozGlas/CRIIRAD sur les sols prélevés en champ proche du site de Rosglas.....	214

Liste des Annexes :

Annexe 1: Synthèse des résultats de mesures <i>in situ</i> et en laboratoire réalisées par l'IRSN au niveau des points de prélèvement sous influence potentielle des sites miniers.....	55
Annexe 2: Résultats des mesures physico-chimiques et des analyses radiologiques effectuées sur des échantillons hors influence minière - Caractérisation du bruit de fond local	63
Annexe 3: Points de prélèvements réalisés en aval éloigné des anciens sites miniers du Morbihan et du Finistère	68
Annexe 4: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Prat Mérien	90
Annexe 5: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Poulprio	103
Annexe 6: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site du Moulin de Brodimon	119
Annexe 7: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Kerler	129
Annexe 8: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Bonote	143

Annexe 9: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan et du Finistère : Site de Rosglas	156
Annexe 10: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Salle Ponto	176
Annexe 11: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Mane Mabo	184
Annexe 12: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers du Morbihan : Site de Ty Gallen	196

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DES CONTRÔLES DE SECOND NIVEAU

Depuis plusieurs années, le Ministère du Développement Durable a engagé, en lien avec les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et Areva Mines, une série d'initiatives destinées à vérifier les conditions de remise en état des anciens sites miniers d'uranium. Au nombre de ces initiatives figure notamment la mise en place du programme MIMAUSA¹ dont l'objectif est de constituer, de tenir à jour et de rendre publique une source d'information complète sur la localisation, l'historique et la situation administrative des sites concernés.

En juillet 2009, le Ministère du Développement Durable et l'ASN ont défini un plan d'actions composé de quatre axes pour la gestion des anciennes mines [1] :

1. contrôler les anciens sites miniers d'uranium ;
2. améliorer la connaissance de leur impact environnemental et sanitaire et leur surveillance ;
3. gérer les stériles (mieux connaître leurs utilisations et réduire les impacts si nécessaire) ;
4. renforcer l'information et la concertation.

Ce plan d'actions prévoit notamment la réalisation par Areva Mines, pour chaque département concerné, de Bilans Environnementaux (BE) des anciens sites miniers d'uranium dont il est responsable.

Dans le cadre du programme MIMAUSA et en lien avec le plan d'actions, le Ministère du Développement Durable a demandé à l'IRSN de réaliser des contrôles dits de second niveau dont les objectifs sont de :

- conforter la fiabilité du contenu de la base de données MIMAUSA en confrontant les informations qui y figurent avec la réalité de terrain ;
- vérifier sur le terrain les résultats et les informations des BE produits par Areva Mines (mesures sur certains des points contrôlés par Areva Mines et sur des points complémentaires) ;
- faire connaître le programme MIMAUSA en établissant des contacts avec les acteurs locaux.

Conformément aux choix retenus par le comité de pilotage du programme MIMAUSA en 2010, les contrôles de second niveau n'ont pas vocation à couvrir de manière exhaustive tous les sites, mais reposent sur une démarche de vérification ciblée sur les sites les moins bien connus ou sur lesquels une visite de terrain apparaît utile pour vérifier certains aspects (anomalies, aménagements...). Selon cette logique, les sites de stockage de résidus, qui font généralement l'objet d'un suivi plus étroit de la part des DREAL, ne sont ainsi pas couverts de façon prioritaire.

En pratique, les missions de second niveau consistent à effectuer des constats visuels et à réaliser des mesures du débit de dose gamma sur les sites sélectionnés et à leurs abords, ainsi que des prélèvements et des analyses en laboratoire sur des échantillons d'eaux de surface et de solides (sols et sédiments) potentiellement impactés par l'exploitation minière. Les contrôles n'ont pas vocation à dupliquer de manière systématique les mesures effectuées par Areva Mines, ni à s'y substituer.

¹ MIMAUSA : Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives. Ce programme, dont la mise en œuvre a été confiée à l'IRSN, est mené depuis 2003. Son comité de pilotage associe la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère du Développement Durable, l'IRSN, AREVA, l'ASN, les DREAL Auvergne et Limousin et le BRGM.

Le présent document décrit la méthode mise en œuvre (chapitre 2) ainsi que le matériel et les techniques de mesures utilisés (chapitre 3), fournit des informations générales sur les sites (chapitre 4) puis rapporte les principales observations faites au cours des contrôles de second niveau réalisés dans les départements du Morbihan et du Finistère le 28 septembre 2015 et du 16 au 20 novembre 2015², ainsi que les enseignements tirés par l'IRSN en matière d'impact et de besoins éventuels de caractérisations complémentaires (chapitre 5). Des fiches descriptives de la situation de chaque site visité et les résultats des mesures réalisées dans le cadre de la mission, sont fournies dans les annexes 1 à 12.

2 MÉTHODE

Les contrôles de second niveau pour un département donné comprennent deux étapes essentielles. **La première étape consiste en une analyse des documents existants concernant les anciens sites miniers d'uranium du département** considéré et en une interprétation des données et des informations disponibles. Le but de cette étape est de sélectionner les sites pour lesquels des investigations de terrain apparaissent plus particulièrement nécessaires. **La seconde étape comprend la visite des sites sélectionnés** et l'interprétation des résultats des analyses effectuées et des observations de terrain.

Étape 1 : analyse des données disponibles.

Les sources de données sont essentiellement le Bilan Environnemental (BE) d'Areva Mines de 2014 et ses annexes (cartes IGN, cadastres, fiches de site, photographies des sites et rapports complémentaires) [2, 12, 31, 32], les informations recensées dans l'inventaire MIMAUSA (Mise à jour d'août 2013, [3]) et le Géoportail [4]. Des rapports réalisés par la CRIIRAD sur les sites de Rosglas et Ty Gallen ont également été exploités [5, 6]. Par ailleurs, l'IRSN a effectué, en 2009, un premier état des lieux d'une partie des sites du Morbihan [7] : la préparation de la mission de terrain correspondante avait été réalisée sur la base d'informations recueillies auprès d'acteurs locaux, de la base MIMAUSA (version 2 de septembre 2007), de la base de données des Titres et Sites Miniers de GEODERIS ainsi qu'à l'aide de l'utilisation couplée du Géoportail, du portail Infoterre et de la Banque du Sous-Sol [8, 9]. Les résultats des mesures réalisées au cours de cette mission ont été pris en compte lors de la rédaction du présent rapport.

Cette première étape a permis une mise à niveau des connaissances recensées dans la base de données MIMAUSA sur les sites considérés dans le BE Bretagne et la mise à jour de données et d'informations de la version 2013 de cette base de données. Ces nouvelles informations ont été intégrées dans la nouvelle version de la base de données MIMAUSA mise en ligne en 2017 [10].

Sur la base des connaissances acquises à l'étape 1, **une sélection des sites à visiter** a été effectuée à partir des critères définis par l'IRSN en concertation avec les membres du COPIL MIMAUSA :

- **existence d'informations mentionnées dans la base MIMAUSA (version 2013) et absentes du BE** (ou inversement) ou **informations contradictoires** entre ces deux sources ;
- **interrogations sur les usages actuels et/ou usages potentiellement sensibles** : zone de loisirs, pêche... ;
- **existence d'anomalie(s) radioactive(s) et/ou interrogation sur le niveau de caractérisation du site** à l'issue de la réalisation du BE par Areva Mines : anomalies radiologiques dans les eaux et les solides

² Pour des raisons d'accessibilité, la visite du site de Ty Gallen s'est déroulée le lundi 28 septembre 2015 après midi lors de la mission de contrôles de second niveau du département des Côtes d'Armor.

(sols ou sédiments), anomalies radiamétriques, besoin de caractérisation d'écoulements sur le site (comme par exemple les écoulements de pied de vers), de l'environnement en amont et en aval... ;

- **intrusion sur site avérée** : présence de traces d'intrusion (clôtures endommagées, traces de passage d'engins motorisés...) ;
- **réutilisation connue, suspectée ou potentielle de matériaux issus des anciennes activités minières** : exploitation de vers, utilisation de stériles pour la réfection et l'aménagement de chemins... ;
- **réaménagements récents sur site** : canalisations, chemins...

Sur la base des informations recueillies sur les sites et leur environnement à l'étape 1 (cf. § 4) et de ces critères de sélection des sites, un **plan prévisionnel d'échantillonnage et de mesure** a été établi par l'IRSN. La DREAL Bretagne et la division de Nantes de l'ASN ont été tenu informées du programme de la mission de terrain.

Etape 2 : visites de terrain.

Un des objectifs des visites de terrain est d'effectuer des contrôles visuels, des mesures radiamétriques (mesures de débit de dose) et des prélèvements d'eau, de sol (par exemple de terres agricoles irriguées avec des eaux de mine) et de sédiment (en particulier dans les plans d'eau situés en aval hydraulique des sites miniers), sur et aux alentours des sites considérés, selon le programme prévisionnel établi.

Le second objectif des visites est d'établir des contacts locaux et notamment des contacts avec les maires des communes concernées par les anciens sites miniers d'uranium, afin de les informer sur le programme MIMAUSA et de recueillir leurs éventuelles préoccupations relatives à la gestion et à l'impact de ces sites.

Les contrôles de second niveau dans les départements du Finistère et du Morbihan ont fait l'objet d'une information préalable des Préfets par la Mission de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (MSNR). Par ailleurs, Areva Mines et les membres du COPIL MIMAUSA ont également été informés, avant la mission, du programme et des dates retenues pour les visites de terrain de l'IRSN.

3 MATÉRIEL ET TECHNIQUES DE MESURES

La localisation des points de mesures et de prélèvements a été réalisée au moyen d'un GPS avec une précision planimétrique de 5 à 10 mètres.

Les mesures radiamétriques (mesures des débits de dose) ont été réalisées à l'aide d'une sonde gamma et X très bas flux de type 6150 AD-b (SAPHYMO) couplée à un radiamètre 6150 AD5, à environ 50 cm du sol de manière systématique et au contact, à chaque fois que jugé pertinent. La gamme de mesure de cette sonde est comprise entre 5 nSv.h⁻¹ et 100 000 nSv.h⁻¹ avec une gamme d'énergie de 23 keV à 7 MeV. Ce balayage radiamétrique a généralement permis de localiser rapidement les zones ayant fait l'objet d'une exploitation ou potentiellement impactées par la réutilisation de matériaux radioactifs issus de l'ancienne mine. En outre, le système MARCASSIN (Moyen Autoporteur pour la Réalisation de Cartographies de l'Activité Sur Sites contaminés) a également été utilisé : il s'agit également d'une sonde gamma et X très bas flux de type 6150 AD-b (SAPHYMO) couplée à un radiamètre 6150 AD5 qui est associée à un système de positionnement GPS et à un ordinateur synchronisant les

données. Ce dernier enregistre en temps réel les mesures du débit de dose et lui associe toutes les 2 secondes une coordonnée de géo-positionnement, ce qui permet d'obtenir *in fine* une cartographie du débit de dose.

Les échantillons d'eaux prélevés ont fait l'objet de mesures *in situ* au moyen d'une sonde Horiba multi-paramètres U-54G. Les paramètres mesurés sont le pH (à l'aide d'une électrode de verre), la température (à l'aide d'un capteur de température à résistance de platine), la conductivité (à partir de quatre électrodes) et la turbidité (par méthode LED et diffraction à 90° C pour une gamme de 0-1000 NTU). Des mesures d'alcalinité ont également été réalisées à l'aide du kit de test de modèle AL-AP, de marque HACH dont la gamme de validité se situe entre 5 et 400 mg CaCO₃.L⁻¹.

Les analyses en radium 226 des échantillons d'eaux, sur la fraction dissoute, particulaire et totale, ont été effectuées par un laboratoire de l'IRSN par émanométrie du radon (Norme NF M60-803). Il est à noter qu'une incertitude relativement importante est associée à l'analyse de la concentration en radium 226 sur la fraction particulaire ; cette incertitude est due au prélèvement et à la méthode de filtration de l'eau réalisée *in situ*. Les analyses en uranium pondéral des échantillons d'eaux, sur la fraction totale, dissoute et particulaire, ont été réalisées par un laboratoire de l'IRSN par ICP-MS (Norme ISO 17294-2, 2003).

Les échantillons de solides (sédiments, sols) ont fait l'objet d'un séchage à l'étuve à 105°C suivi d'un tamisage à 2 mm (Norme NF M60-790-6) dans un laboratoire de l'IRSN. La totalité de l'échantillon de granulométrie inférieure à 2 mm a été broyée ; une aliquote a ensuite été placée en géométrie 60 mL pour analyse par spectrométrie gamma équipée d'un détecteur coaxial de type N Germanium.

4 ENSEIGNEMENTS TIRÉS DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE **(ÉTAPE 1)**

4.1 GÉNÉRALITÉS SUR LES ANCIENS SITES MINIERS DU MORBIHAN ET DU FINISTÈRE

Nom et localisation des sites

Les anciens sites miniers du Morbihan sont au nombre de 26 (cf. Figure 1) : Bonote, Calerden, Coet Henven, Galhaut, Guermeur, Le Hinguer, Kerales, Kercher, Kerhuennec, Kerler, Keroc'h, Kersegalec, Kervrec'h, Keryacunff, Mane Mabo, Moulin de Brodimon, Poulprio, Prat Méno, Prat Mérien, Quistiave, Roscorbel, Rosglas, Salle Ponto, Sulliado, Ty Gallen et Vouedec [2].

Les anciens sites miniers du Finistère sont au nombre de 5 (cf. Figure 1) : Bohars, Carros-Combout, Grand Spernot, Kerjean et Poulbet [2].

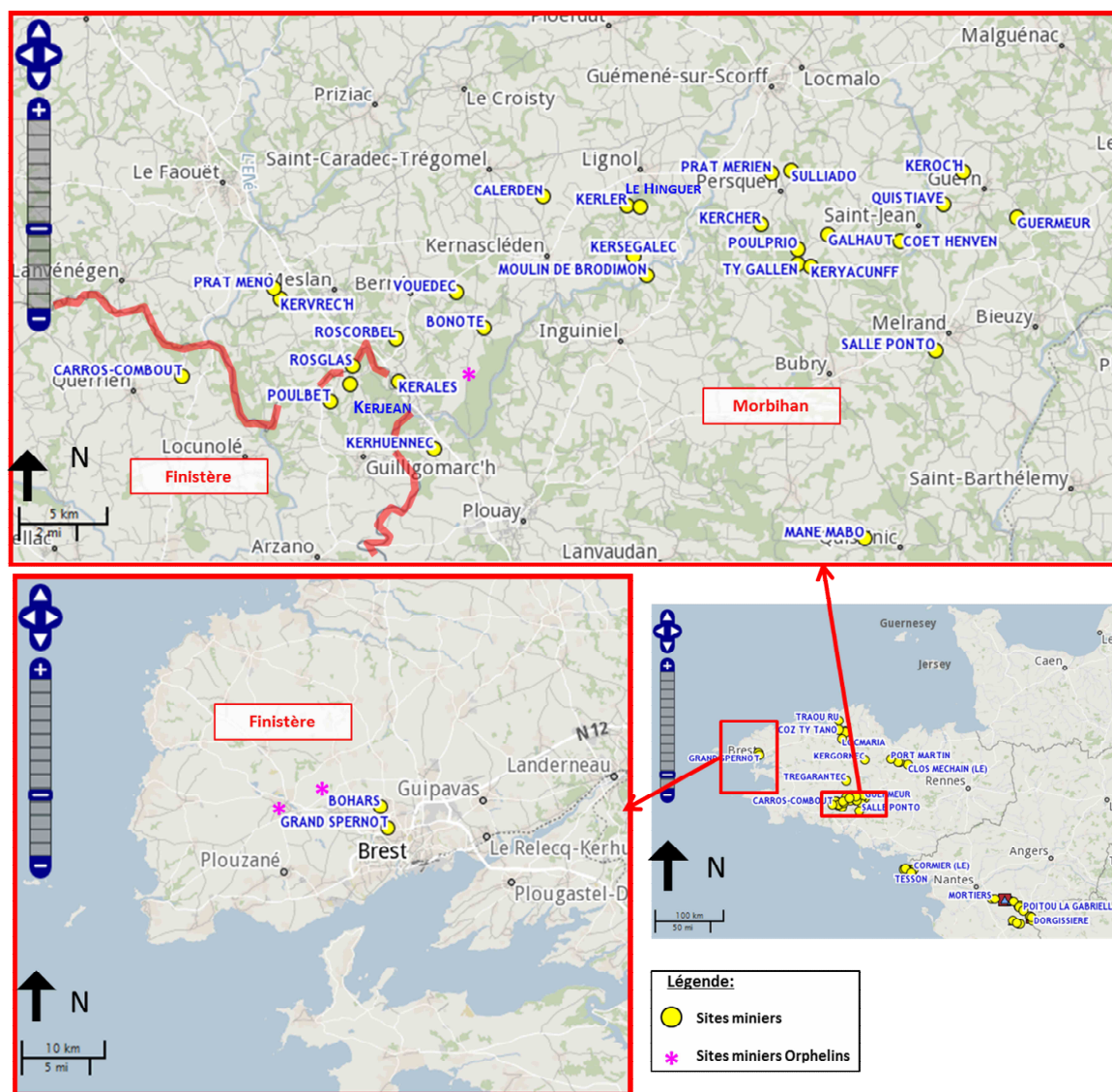


Figure 1 : Cartes de localisation des anciens sites miniers du Morbihan et du Finistère issues de la base de données MIMAUSA [10] (fonds de carte OpenStreetMap [11])

Bassins versants associés aux sites

Les anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan sont répartis sur quatre grands bassins versants (cf. Figure 2) :

- celui de la rivière de l'Ellé (sites de Prat Méno, Vouedec, Kervrec'h et Carros-Combout) ;
- celui de la rivière Le Scorff (sites de Sulliado, Prat-Mérien, Kercher, Galhaut, Poulprio, Kersegalect, Moulin de Brodimon, Le Hinguer, Kerler, Calerden, Vouedec, Bonote, Kerhuennec, Kerales, Rosglas, Roscorbel, Kerjean et Poulbet) ;
- celui de la rivière Le Blavet (sites de Coet Henven, Salle Ponto, Keroc'h, Quistave, Keryacunff, Ty-Gallen, Guerneur, Galhaut et Mane Mabo) ;
- celui de la rivière La Penfeld (sites de Bohars et Grand Sprenot).

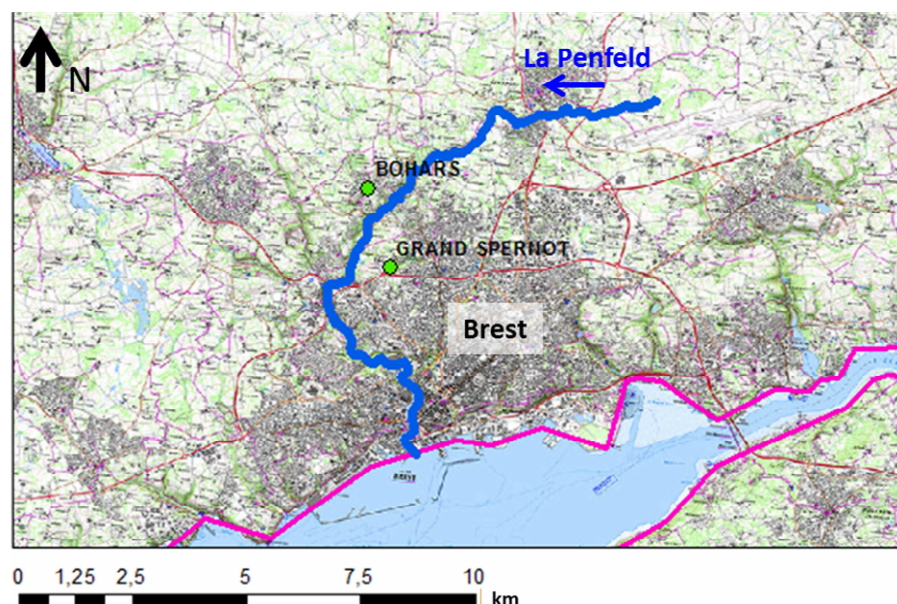
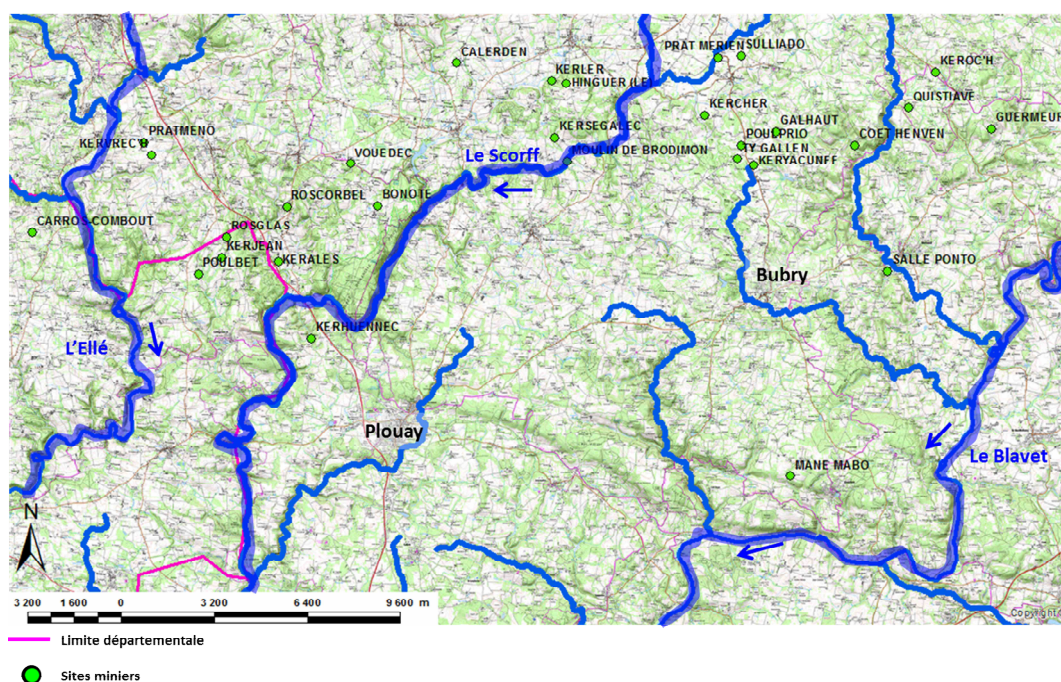


Figure 2 : Localisation des anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan dans les bassins versants des rivières l'Ellé, Le Scorff, Le Blavet et de La Penfeld (fonds de carte scan 1/25000 ©IGN)

Superficie des sites

Le BE [2] n'indique la superficie que d'une partie des sites du Finistère et du Morbihan (cf. Tableau 1). Ainsi pour les sites dont l'information est disponible, ils présentent des surfaces très restreintes avec des superficies comprises entre 0,05 et 3,6 ha (cf.

Figure 3). Seuls les sites de Kerjean, Kerhuennec, Keryacunff, Prat Mérien et Ty Gallen ont une étendue supérieure à 1 ha (cf. Tableau 1).

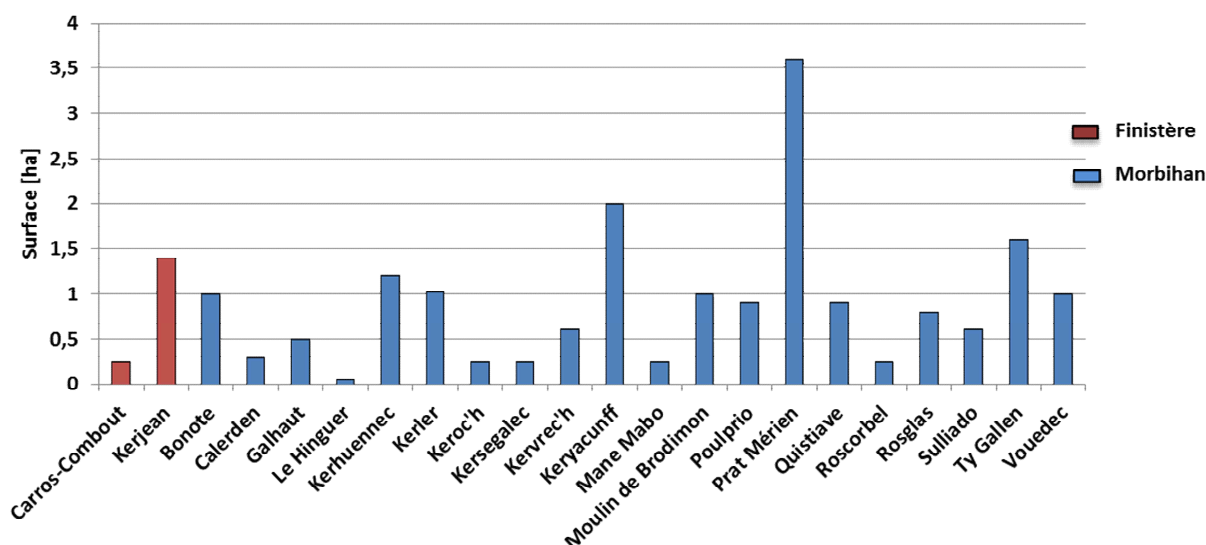


Figure 3 : Superficies (en hectare) des anciens sites miniers d'uranium du Finistère et du Morbihan (d'après le BE [2])

4.2 NATURE DES TRAVAUX D'EXPLOITATION ET PRODUCTIONS ASSOCIÉES

Le Tableau 1 présente le type d'exploitation minière (Travaux Miniers Souterrains (TMS), Mine à Ciel Ouvert (MCO) et Travaux de Reconnaissance par Petits Chantiers (TRPC)), les teneurs ainsi que les tonnages de minerai et d'uranium produits sur les anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan. Les données manquantes dans le BE et dans la base MIMAUSA sont représentées en orange (cf. Tableau 1).

Seuls les sites de Prat Mérien et Keryacunff ont été exploités à partir d'une MCO ; ces dernières ont été comblées avec des stériles [2]. En l'état actuel des connaissances, les sites du Morbihan et du Finistère ont vu l'extraction de plus de 276 600 tonnes de minerai d'uranium et ont produit 1 108 tonnes d'uranium (cf. Tableau 1) [2]. Les productions d'uranium proviennent essentiellement des sites de Bonote, Kerler et Rosglas (cf. Figure 4).

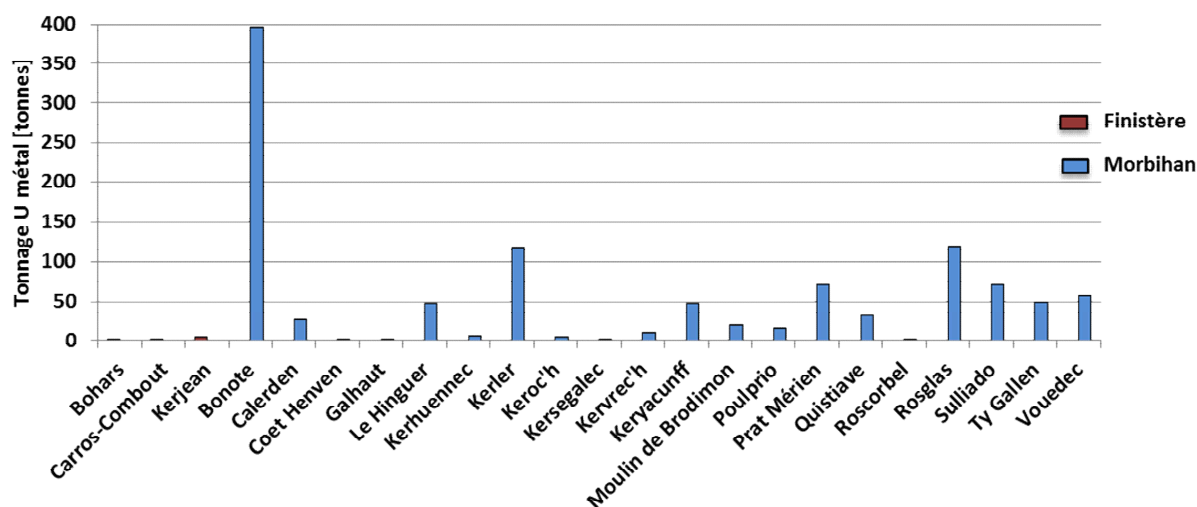


Figure 4 : Uranium métal extrait (en tonnes) sur les anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan (d'après le BE [2])

Tableau 1 : Nature des travaux d'exploitation minière, superficies des sites et tonnages de minerai et d'uranium produits ; en orange les données manquantes dans le bilan Environnemental (d'après le BE [2])

Départements	Sites miniers	Type d'exploitation	Tonnage de minerai [tonnes]	Teneur [%]	Tonnage U métal [tonnes]	Superficie [ha]
Finistère	Bohars	TRPC	203	1,95	0,396	
	Carros-Combout	TRPC			2,200	0,25
	Grand Spérnot	TRPC				
	Kerjean	TMS	2865	1,52	4,359	1,40
	Poulbet	TRPC				
Morbihan	Bonote	TMS	65686	6,04	396,889	1,00
	Calerden	TMS	8877	3,10	27,560	0,30
	Coet Henven	TRPC	350	1,92	0,672	
	Galhaut	TMS	659	1,86	1,231	0,50
	Guermeur	TRPC				
	Le Hinguer	TMS	9868	4,84	47,750	0,05
	Kerales	TRPC				
	Kercher	TRPC	70			
	Kerhuennec	TMS	3632	1,85	6,722	1,20
	Kerler	TMS	24205	4,86	117,697	1,02
	Keroc'h	Tranchées			5,000	0,25
	Kersegalec	Tranchées			2,000	0,25
	Kervrec'h	TMS	3588	3,04	10,902	0,60
	Keryacunff	MCO	16279	2,95	48,010	2,00
	Mane Mabo	TMS		4,50		0,25
	Moulin de Brodimon	TMS	6327	3,17	20,078	1,00
	Poulprio	TMS	7530	2,02	15,239	0,90
	Prat Méno	TRPC				
	Prat Mérien	MCO + TMS	52832	1,36	72,013	3,60
	Quistiave	TMS	5218	6,23	32,487	0,90
	Roscorbel	TRPC	63	7,37	0,464	0,25
	Rosglas	TMS + Tranchée	19196	6,18	118,599	0,80
	Salle Ponto	TRPC				
	Sulliado	TMS	14628	4,87	71,230	0,60
	Ty Gallen	TMS	18710	2,60	48,727	1,60
	Vouedec	TMS	15841	3,66	57,995	1,00

Avec : MCO = Mine à Ciel Ouvert, TMS = Travaux Miniers Souterrains, TRPC = Travaux de Reconnaissance par Petits Chantiers

4.3 SITUATIONS RELATIVES AU TRAITEMENT DES EAUX

Aucun site du Finistère et du Morbihan ne dispose d'une station de traitement des eaux en fonctionnement [2].

4.4 SITUATIONS RELATIVES À LA SURVEILLANCE DES SITES EFFECTUÉE PAR AREVA MINES

Les anciens sites miniers peuvent faire l'objet :

- **d'une surveillance réglementaire** qui consiste en des contrôles périodiques de divers paramètres dans différents compartiments de l'environnement (eaux, sédiments, végétaux...) définis par arrêté préfectoral ou demande de la DREAL, ou en des contrôles plus ponctuels à la demande de la DREAL à l'issue notamment d'inspections. Aucun site du Finistère et du Morbihan n'est concerné par une surveillance réglementaire ;
- **d'une auto-surveillance** à l'initiative d'Areva Mines. Dans le cas des sites du Finistère et du Morbihan, cette auto-surveillance a consisté en des prélèvements d'eau (fréquence trimestrielle) et de sédiments (un prélèvement pendant la période de surveillance) de septembre 2012 à juin 2013 dans les principaux cours d'eau dans l'environnement des sites du Finistère et du Morbihan [12].

Par ailleurs, dans le cadre de la réalisation du Bilan Environnemental [2], Areva Mines a procédé à des analyses ponctuelles, en février 2011, mars 2011 et avril 2012, dans l'environnement proche des sites du Finistère et du Morbihan.

4.5 ELÉMENTS RETENUS POUR LA SÉLECTION DES SITES À VISITER

Les sites de Kerales (Morbihan), Bohars (Finistère) et Grand Spornot (Finistère) sont des sites dits « orphelins » c'est-à-dire que ces sites n'ont plus de responsable ou que celui-ci est défaillant et que leur gestion revient à l'Etat (cf. Figure 1). Ces trois sites ont fait l'objet d'une visite par GEODERIS [13] et l'IRSN [14], en juin 2015, à la demande de la Direction générale de la prévention des risques afin d'établir un diagnostic des aléas et des risques miniers (principalement mouvements de terrain et risques corporels) et de la situation radiologique. Ils n'ont, par conséquent, pas été retenus pour une visite de terrain dans le cadre des contrôles de second niveau.

Pour les autres sites, parmi les critères retenus pour établir le programme prévisionnel des contrôles (cf. critères définis au chapitre 2), deux sont apparus comme déterminants lors de l'analyse des données disponibles à savoir : **l'usage, les niveaux radiométriques (exposition externe) et/ou radiologiques (radioactivité des eaux, des solides) ou une combinaison des deux.** Ainsi :

- les sites avec un usage potentiellement sensibles (présence d'habitation, de locaux d'entreprise etc.) ou avec un accès aux travaux miniers (galerie ouverte) ont été sélectionnés ;
- les sites présentant un marquage des sols lié à l'ancien circuit des eaux d'exhaure ont fait l'objet d'une attention particulière compte tenu des débits de dose et des activités mesurés.

Le Tableau 2 présente la synthèse des éléments ayant guidé la définition, par l'IRSN, du programme prévisionnel de contrôle de second niveau sur et au voisinage des sites du Finistère et du Morbihan.

Tableau 2 : Caractéristiques des sites et de leur environnement prises en compte par l'IRSN pour l'élaboration du programme prévisionnel de contrôle de second niveau (d'après le BE [2], [12] et [31])

Sites miniers	Ecoulement du site (vecteur eau), teneurs en uranium et ou en radium 226 dans les eaux et activités dans les sédiments et les sols mesurées par Areva Mines	Niveaux radiamétriques mesurés par Areva Mines (c/s SSPγ)	Usage	Contrôles envisagés
Bonote	Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure ont été rejetées vers le sud <u>Eaux de surface</u> Source au sud du site: ^{226}Ra = 230 mBq/L Ruisseau en aval du site (au nord): ^{226}Ra = 110 mBq/L (données 2011) <u>Sédiments</u> : Ruisseau en aval du site: ^{238}U = 140 Bq/kg, ^{226}Ra = 600 Bq/kg Pas de mesures dans les sols au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure	Sur site: 150-660 c/s Mesures ponctuelles dans le talweg situé au sud-est du site et dans le chemin d'accès: 1 100-1 200 c/s -> marquage au niveau de l'ancien circuit des eaux durant l'exploitation	Parcelle avec habitation sur l'ancien circuit des eaux d'exhaure	Effectuer des mesures radiamétriques en environnement proche du site (réaliser des mesures complémentaires à celles d'Areva Mines), préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure Prélever des échantillons d'eau et de sédiment en aval du site au sud et au nord du site
Kerler	Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure ont été rejetées vers le nord dans le ruisseau de Kerustang Pas de marquage actuel du ruisseau, mais marquage des sols au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (certains points avec des activités supérieures à 50 000 Bq/kg en ^{238}U et ^{226}Ra)	Sur site: 200-600 c/s Au niveau des stériles du petit mur: 550-28 000 c/s Fossé situé au Nord, le long de la route 600-2 000 c/s (ponctuel 3 500 c/s) Prairie au nord du site: 450-2 500 c/s	Garage sur ancien carreau minier Présence d'habitations	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site
Mane Mabo	<u>Eaux de surface</u> : Aval site: ^{226}Ra < 20 à 470 mBq/L	Autour de l'ancien puits et carreau minier: 400-1 300 c/s Autour de la maison: 200-400 (ponctuellement 800-1 000) c/s Reste du site: 150-250 (ponctuel 1 200) c/s -> marquage du site lié à des stériles miniers	Ancien carreau minier est utilisé comme une extension du jardin de la maison (Poulailler, stockage de bois de chauffage etc..)	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements d'eau et de sédiments dans le ruisseau qui draine le site à l'ouest.
Moulin de Brodimon	Pas d'écoulement en provenance du site <u>Eaux de surface</u> : Aval site, dans le Scorff: ^{238}U = 3,1 µg/L et ^{226}Ra = 40 mBq/L	Ancien carreau, accès à la descenderie et travers-banc: 200-600 c/s Chemin d'accès au nord: 150-900 c/s Talus en face de la maison du Moulin de Brodimon: 250-2 100 c/s	Maison d'habitation en face des travaux miniers	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements d'eau et de sédiments dans le Scorff au droit du site
Poulprio	<u>Sédiments</u> : Ruisseau au nord du site: ^{238}U = 8 300 Bq/kg, ^{226}Ra = 13 800 Bq/kg <u>Sols</u> : Au niveau de l'ancien bassin de décantation: ^{238}U = 7 816 Bq/kg, ^{226}Ra = 8 492 Bq/kg -> marquage des sols lié à l'exploitation	Sur site: 250-650 c/s Piste d'accès: 130-180 c/s Talweg (ancien bassin de décantation) 700-1 850 c/s	Site appartenant à Areva Mines, pas d'usage	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements au niveau de l'ancien bassin de décantation Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval au nord du site
Prat Mérien	<u>Eaux de surface</u> : Aval proche site (mesure de 2011): ^{238}U = 24 µg/L et ^{226}Ra = 110 mBq/L	Ancien carreau (entreprise): 120-200 c/s MCO: 180-1100 (moyenne 320) c/s Puits Saint Hervé: 500-1 200 c/s Emplacement de la verse à stériles: 120-250 c/s Au niveau du talus en bordure de la route D3: 350-1 250 c/s	Entreprise de transport céréalier et de travaux agricoles sur l'ancien carreau minier et à l'emplacement de l'ancienne verse à stériles	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements d'eau et de sédiments au niveau du ruisseau du Chapelain et du ru qui s'écoule au sud du site

Sites miniers	Écoulement du site (vecteur eau), teneurs en uranium et ou en radium 226 dans les eaux et activités dans les sédiments et les sols mesurées par Areva Mines	Niveaux radiamétriques mesurés par Areva Mines (c/s SSPy)	Usage	Contrôles envisagés
Rosglas	<p>Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure ont été rejetées vers le sud</p> <p><u>Sédiments:</u> Au niveau de l'exutoire: ^{238}U = 10 000 Bq/kg et ^{226}Ra = 6 000 Bq/kg</p> <p><u>Sols:</u> Marquage des sols au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (certains points avec des activités supérieures à 20 000 Bq/kg en ^{238}U et ^{226}Ra)</p>	<p>Carreau minier et à l'aplomb du défilage: 120-550 c/s</p> <p>Verse à stériles: 350-600 c/s avec des valeurs ponctuelles sur le flanc nord - 2 500 c/s</p> <p>Chemin d'accès 200-350 c/s</p> <p>Chemin de randonnée: 800-2 500 c/s -> dû à l'écoulement des eaux issues des TMS durant l'exploitation</p>	Présence d'un chemin de randonnée au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure	Effectuer des mesures radiamétriques au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure, préciser l'usage et l'accès au site, prélever des échantillons d'eau et de sédiments au niveau des étangs et du ruisseau localisés au nord du site
Salle Ponto	Pas d'écoulement en provenance du site	<p>Entrée de la galerie: 800-1 200 c/s</p> <p>Pas de verse mais reste en place une plateforme ayant servi au dépôt de stériles miniers devant l'entrée de la galerie qui se prolonge vers le nord le long de la pente sur une longueur de 50 m et sur 3 m de large</p>	Présence d'une galerie ouverte	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site et l'accessibilité de la galerie Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site
Ty Gallen	<p>Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure ont été rejetées vers le sud</p> <p><u>Eaux de surface:</u> Au niveau de l'exutoire: ^{238}U = 7,9 µg/L et ^{226}Ra = 210 mBq/L Au niveau du ruisseau aval site, zone marécageuse: ^{238}U = 61 µg/L, ^{226}Ra = 400 mBq/L et plus en aval: ^{238}U = 36 µg/L et ^{226}Ra = 390 mBq/L</p> <p><u>Sédiments:</u> Au niveau de l'exutoire: ^{238}U = 31 400 Bq/kg et ^{226}Ra = 10 100 Bq/kg</p> <p><u>Sols:</u> Marquage des sols au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (certains points avec des activités supérieures à 10 000 Bq/kg en ^{238}U et ^{226}Ra)</p>	<p>Chemin d'accès: 150-350 (ponctuel à 1 000) c/s</p> <p>Ancien carreau: 220-450 c/s</p> <p>Verse à stériles: 200-220 c/s</p> <p>Circuit des eaux d'exhaure: fossé -> 650-2 500 c/s, zone humide en contrebas de la maison -> 400-3 200 c/s, terrain de pétanque -> 420-650 c/s</p>	Parcelle avec habitation proche de l'ancien circuit des eaux d'exhaure	Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site Prélever des échantillons d'eau et de sédiments au niveau de la zone humide du hameau de Guern en Tal

Sur la base de l'ensemble des éléments mentionnés ci-dessus et dans le Tableau 2, le choix des sites à visiter dans le cadre des contrôles de second niveau s'est porté sur les 9 sites suivants : Bonote, Rosglas, Ty Gallen, Kerler, Poulprio, le moulin de Brodimon, Salle Ponto, Prat Mérien et Mane Mabo. Par ailleurs, des prélèvements en champ éloigné des sites du Finistère et du Morbihan, à l'aval total de plusieurs sites ont également été réalisés afin de vérifier les informations présentées dans le BE et de réaliser des mesures complémentaires.

5 ENSEIGNEMENTS TIRÉS DES VISITES DE TERRAIN (ÉTAPE 2)

Les résultats des contrôles de second niveau sont détaillés, pour chaque site visité, dans les annexes 4 à 12. Celles-ci fournissent également un descriptif de la nature des travaux réalisés sur les sites, que ce soit au cours de l'exploitation ou pendant le réaménagement, et précisent la localisation géographique des sites et des principaux ouvrages miniers ainsi que le réseau hydrographique de surface autour des sites. Les paragraphes suivants reprennent, de manière succincte, la situation des sites visités et les principales observations faites lors de la mission sur le terrain. Ils mentionnent les écarts mis en évidence par rapport au contenu du BE et s'attachent à décrire la situation radiologique observée de chaque site et de son environnement.

L'évaluation des situations s'appuie sur les observations visuelles (usage et accessibilité du site par exemple) et sur les résultats de mesures effectuées dans l'eau, les sédiments et les sols. Pour cette évaluation, des données caractéristiques de milieux comparables aux lieux de prélèvements et de mesure, mais situés hors champ d'influence de sites miniers d'uranium (bruit de fond), sont nécessaires. Les valeurs retenues pour caractériser ce bruit de fond local sont indiquées dans l'encadré ci-dessous.

Bruit de fond radiologique

Les débits de dose mesurés à environ 50 cm du sol, dans l'environnement naturel des sites du Finistère et du Morbihan visités, sont compris entre 100 et 150 nSv.h⁻¹.

Les concentrations en uranium et les activités en radium 226 généralement mesurées pour des eaux de surface, dans des contextes géologiques similaires à ceux du Finistère et du Morbihan et non affectées par l'exploitation minière, sont respectivement de l'ordre de 1 µg.L⁻¹ et de quelques dizaines de mBq.L⁻¹ [16 à 27].

En ce qui concerne les sédiments, l'ordre de grandeur des activités massiques considérées pour le bruit de fond était jusqu'à présent celui proposé dans la tierce expertise IRSN du bilan décennal environnemental d'Areva Mines pour ses sites de la Division Minière de la Crouzille en Haute-Vienne à savoir 500 Bq.kg⁻¹ (exprimé en masse sèche) pour chacun des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 [15]. Actuellement, l'IRSN dispose de suffisamment de données issues des missions de terrain effectuées dans le cadre du programme MIMAUSA pour caractériser plus précisément le bruit de fond pour les sédiments autour de 200 Bq.kg⁻¹ [16 à 27].

Des prélèvements d'eau et de sédiments ont été effectués hors influence des sites miniers durant les contrôles de second niveau sur les départements du Finistère et du Morbihan. Les résultats, présentés en Annexe 2, sont cohérents avec les valeurs retenues de bruit de fond.

Les résultats des mesures physico-chimiques *in situ* et des analyses radiologiques réalisées par l'IRSN sont synthétisés dans l'Annexe 1 pour les points sous influence potentielle et dans l'Annexe 2 pour les points hors influence de sites miniers pour les départements du Finistère et du Morbihan.

5.1 SITUATION ACTUELLE DES SITES INVESTIGUES LORS DES CONTROLES DE SECOND NIVEAU

5.1.1 SITE DE PRAT MÉRIEN

Pour plus de détails, voir l'Annexe 4

5.1.1.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Prat Mérien est localisé au nord-ouest de la commune de Persquen, sur des terrains appartenant à Areva Mines et à un propriétaire privé. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation d'une MCO et de TMS. La MCO a été remblayée dans les années 90 et se situe sur une parcelle en friche non clôturée, propriété d'Areva Mines, sans usage lors de la visite de l'IRSN en 2015. Cependant, cette parcelle (parcelle ZC 39) a été choisie comme site de dépôt des stériles miniers du département du Morbihan issus des travaux d'assainissement des zones de réutilisation de stériles miniers d'uranium dans le domaine public, en application de la circulaire du 8 août 2013 [28]. La parcelle privée ZC 40, concernée notamment par l'ancien carreau minier, est actuellement occupée par une entreprise de transport de céréales ainsi que par un stockage de bois biomasse dont les locaux sont constitués d'hangars et de bungalows (bureaux de l'entreprise).

5.1.1.2 Observations concernant les situations radiamétrique et radiologique du site

Radiamétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN sur la parcelle concernée par les locaux de l'entreprise sont de l'ordre du bruit de fond avec des valeurs de l'ordre de 2 à 3 fois le bruit de fond naturel sur quelques zones (partie nord-est du carreau minier et limite des parcelles ZC 40-39) (cf. Figure 5). Une zone localisée entre la zone d'entreposage de bois et l'ancien carreau minier présente des débits de dose compris entre 3 et 5 fois le bruit de fond naturel. Un talus localisé en bordure de route et constitué de stériles miniers peut présenter des débits de dose de l'ordre de 9 à 10 fois le bruit de fond naturel [2, 7]. Les débits de dose mesurés au niveau de la MCO sont également plus élevés, de l'ordre de 3 à 8 fois le bruit de fond naturel. Ces mesures sont cohérentes avec celles d'Areva Mines [2].

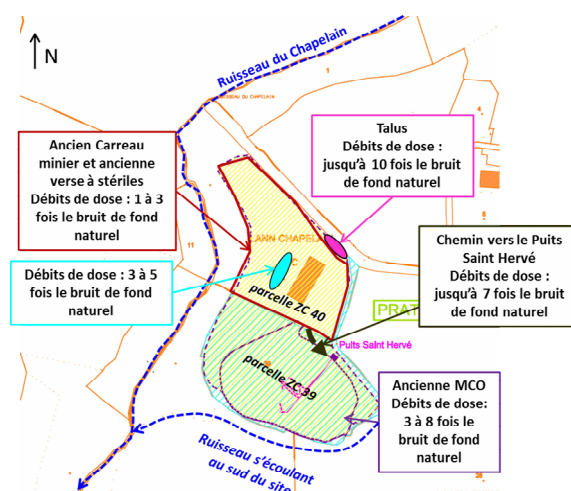


Figure 5 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN (en 2015 et en 2009) sur le site de Prat Mérien (localisation sur plan cadastral [2])

Eaux de surface

Le site de Prat Mérien est drainé à l'ouest par le ruisseau du Chapelain et au sud par un petit ruisseau affluent du Chapelain (cf. Figure 6).

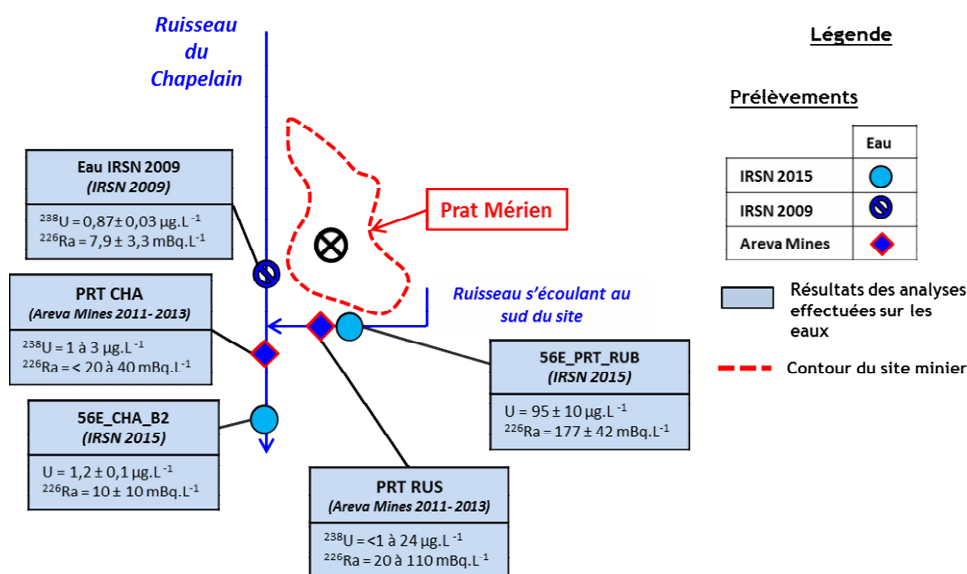


Figure 6 : Schéma de localisation des prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Prat Mérien et résultats des analyses associées (données Areva Mines [2, 12] et IRSN 2009 [7] et 2015)

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées par l'IRSN en 2015 dans le ruisseau du Chapelain (Echantillon 56E_CHA_B2, cf. Figure 6) sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines en 2011-2013 et l'IRSN en 2009 dans ce ruisseau (Echantillons PRT CHA et Eau IRSN 2009, cf. Figure 6), avec des valeurs du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

En revanche, les mesures réalisées par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2011-2013 indiquent que le ruisseau qui s'écoule au sud du site (Echantillons PRT RUS et 56E_PRT_RUB, cf. Figure 6) présente des teneurs en uranium et des activités en radium 226 très variables, pouvant atteindre 100 fois le bruit de fond pour l'uranium et 10 fois le bruit de fond pour le radium 226. Ce marquage n'est cependant plus perceptible après la confluence avec le ruisseau du Chapelain (effet de dilution).

La grande variabilité de la teneur en uranium et de l'activité en radium 226 mesurées dans le ruisseau qui s'écoule au sud du site, à la fois par Areva Mines et l'IRSN, pourrait s'expliquer par la présence de rejet diffus du site vers ce ruisseau (cf. Figure 6). En effet ce ruisseau longe la MCO qui a été comblée et réaménagée avec des stériles miniers dont la lixiviation en cas de fortes pluies (ce qui était le cas lors des contrôles de second niveau) pourrait entraîner un marquage ponctuel de ce ruisseau.

5.1.1.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiométrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des résultats des faibles niveaux (au plus de 2 à 3 fois le bruit de fond) au niveau de l'ancien carreau minier occupé par une entreprise et des usages observés (zone de passage, de parking pour les véhicules et d'entreposage), le risque d'exposition prolongée de personnes, incluant celles présentes sur le site pour leurs

activités professionnelles, est vraisemblablement limité. La configuration des bureaux de l'entreprise (bungalows sur parpaing) conduit à un risque d'exposition au radon *a priori* faible.

Pour ce qui concerne le talus constitué de stériles, qui présente des niveaux radiométriques significativement supérieurs au bruit de fond, le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité compte tenu de sa localisation en bordure de route et l'absence d'usage constaté. Néanmoins, l'IRSN considère que la présence d'un talus en stériles dans l'environnement induit un risque de réutilisation des matériaux par le public. De manière générale, l'IRSN considère que le retrait des matériaux responsables de débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond sur une zone de faible étendue est à encourager dès lors que ce retrait est aisé. Aussi, l'IRSN suggère d'une part d'informer la mairie de la présence de ces stériles afin de prévenir leur utilisation et d'autre part, d'engager une réflexion sur la faisabilité de leur retrait. A cet égard, l'IRSN suggère de profiter des travaux liés au dépôt des stériles miniers issus des travaux d'assainissement des zones de réutilisation de stériles miniers d'uranium dans le domaine public du département du Morbihan prévus sur le site de Prat Mérien afin d'assainir également ce talus qui n'a pas été pris en compte dans les fiches travaux de la commune de Persquen [29].

Les résultats des mesures effectuées dans le cadre des contrôles de second niveau dans le ruisseau s'écoulant au sud du site ne suscitent pas de commentaire particulier de la part de l'IRSN compte tenu des caractéristiques de ce ruisseau (faible débit), de l'absence d'usage et de l'absence de marquage dans le ruisseau du Chapelain dont il est affluent. Cependant, l'IRSN attire l'attention sur la présence possible de rejets diffus liés à la lixiviation des matériaux actuellement en place par les eaux météoritiques et considère que l'ajout de stériles sur la parcelle ZC 39 dans le cadre des travaux d'assainissement des zones de réutilisation de stériles miniers d'uranium dans le domaine public pourrait accroître ce phénomène. Aussi, dans le cadre de la réalisation du dépôt des stériles sur le site de Prat Mérien, l'IRSN considère qu'il serait opportun de mettre en place une surveillance des eaux de surface en aval du site minier afin de suivre l'évolution de la qualité des eaux autour du site avant dépôt (*i.e.* état zéro), ainsi que pendant et après le dépôt. A cet égard, une connaissance de l'hydrologie du site apparaît nécessaire afin de disposer de points de caractérisation des eaux de surface adaptés à l'objectif de surveillance.

5.1.2 SITE DE POULPRIO

Pour plus de détails, voir l'Annexe 5

5.1.2.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Poulprio est localisé au nord-ouest de la commune de Bubry, sur des terrains appartenant essentiellement à Areva Mines. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS. Durant l'exploitation minière, les eaux d'exhaure étaient pompées puis stockées dans un bassin de décantation localisé au nord du site. Les eaux étaient ensuite rejetées dans le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site (cf. Figure 7). Le secteur localisé en aval de l'ancien bassin de décantation constitue actuellement une zone marécageuse. Les terrains où sont localisés le montage et la descenderie ont été défrichés en 2011 par Areva Mines et sont accessibles alors que

les autres parcelles sont boisées et difficiles d'accès. Il n'y a pas d'usage constaté sur le site hormis un chemin d'accès aux parcelles voisines au site (parcelle 11).

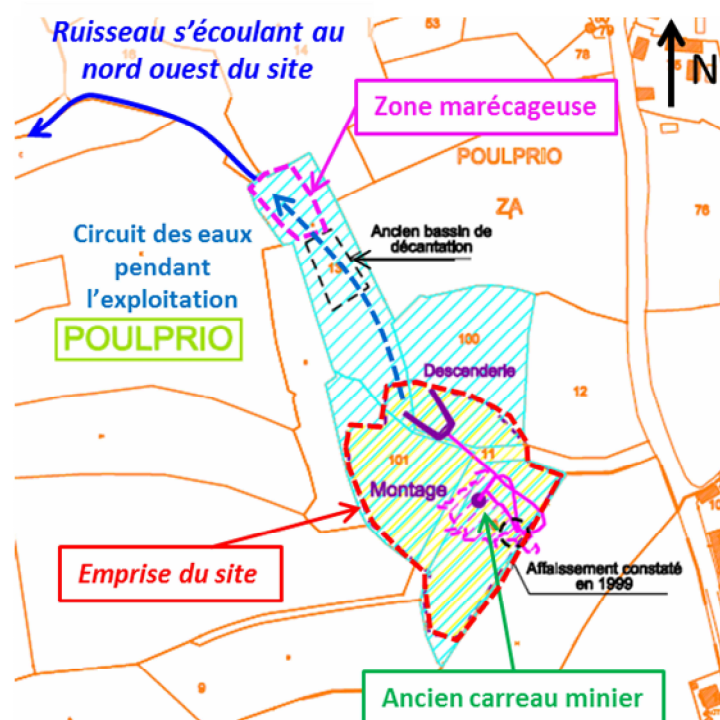


Figure 7 : Situation des travaux miniers du site de Poulprio ainsi que le circuit des eaux pendant l'exploitation (localisation sur plan cadastral [2])

5.1.2.2 Observations concernant les situations radiamétrique et radiologique du site

Radiamétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN au niveau de l'ancien carreau minier sont de l'ordre de 2 à 3 fois le bruit de fond naturel avec cependant quelques valeurs ponctuellement plus élevées (jusqu'à 875 nSv/h au niveau de la descenderie par exemple). Des débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond (supérieurs à 10 fois le bruit de fond naturel) ont été mesurés au niveau de la zone marécageuse (correspondant à l'ancien circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation minière) ; ces débits de dose peuvent s'expliquer par les activités massiques des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 élevées des sols (cf. ci-après). Les mesures de débits de dose effectuées par l'IRSN en 2015 sont cohérentes avec celles présentées par Areva Mines [2, 31].

Eaux de surface

Le site de Poulprio est drainé au nord-ouest par un petit ruisseau, affluent du ruisseau de Goah Mout (cf. Figure 8). Les mesures effectuées par Areva Mines en aval immédiat de la zone marécageuse au point POP RUB sont supérieures (en particulier pour le radium 226, cf. Figure 8) à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière. Les résultats des analyses radiologiques réalisées par l'IRSN confirment un marquage des eaux de surface en aval immédiat du site mais révèlent des teneurs significativement plus élevées (de l'ordre de 2 à 3 ordres de grandeur, cf. Figure 8, échantillon 56E_POP_RUB1) que celles mesurées par Areva Mines au point POP RUB. Cette différence peut s'expliquer par la localisation du point de prélèvement de l'IRSN qui est situé dans la zone marécageuse légèrement en amont du point de prélèvement Areva Mines et/ou par la fraction analysée. En effet les analyses radiologiques réalisées par l'IRSN ont été effectuées sur la fraction totale

(fraction dissoute + particulaire) alors qu'Areva Mines a réalisé ses analyses uniquement sur la fraction dissoute. Or la fraction particulaire peut contenir des particules sur lesquelles s'adsorbent les radionucléides. Cela peut expliquer les différences observées entre les résultats de l'IRSN et d'Areva Mines.

Les mesures réalisées par l'IRSN en 2015 au point 56E_POP-RUB2 et en 2009 montrent que l'impact du site sur les eaux de surface n'est plus perceptible en aval éloigné du site de Poulprio (cf. Figure 8).

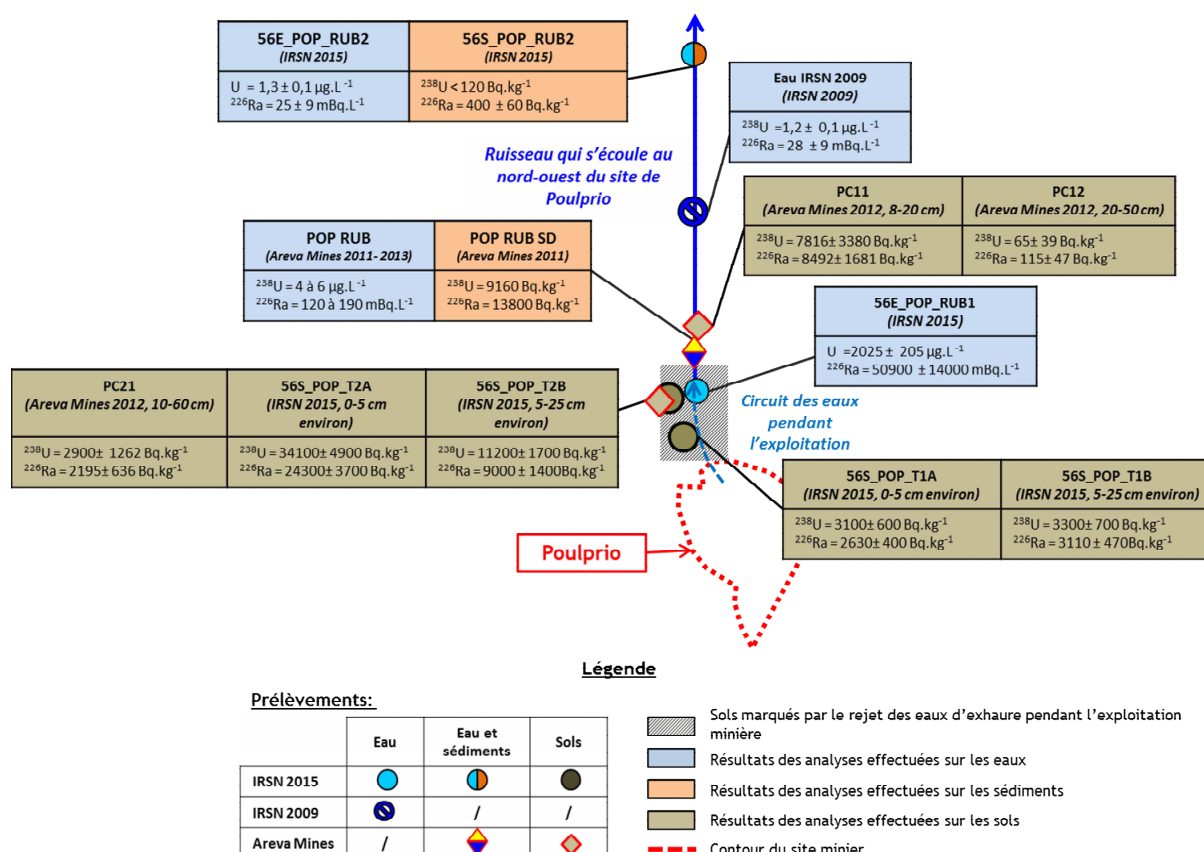


Figure 8 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Poulprio (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015).

Sédiments

Les analyses de sédiments réalisées par Areva Mines et l'IRSN en aval du site de Poulprio, dans le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site, révèlent d'une part un marquage des sédiments en ^{238}U et ^{226}Ra qui s'atténue avec la distance au site et d'autre part un déséquilibre des activités massiques en faveur du radium ^{226}Ra ³ (cf. Figure 8).

Sols

Le site de Poulprio a fait l'objet en 2012 d'une étude complémentaire par Areva Mines au cours de laquelle des prélèvements de sols ont été effectués notamment dans la zone marécageuse [31]. Les résultats des mesures réalisées par Areva Mines et l'IRSN montrent d'une part que les sols concernés par le marquage des eaux d'exhaure présentent des activités massiques significativement supérieures à celles observées dans le milieu

³ Ce déséquilibre peut être dû à la lixiviation naturelle des matériaux en place. En effet, différentes études tendent à montrer que les eaux météoriques, au cours de leur percolation dans ces matériaux, peuvent les lixivier et conduire à la mise en solution de radioéléments et d'espèces chimiques qu'ils contiennent. Cette mise en solution, qui dépend de nombreux paramètres (conditions d'oxydo-réduction, minéralogie et phases porteuses de l'uranium et du radium, porosité, etc.), peut se traduire par un transport préférentiel de certains des radionucléides contenus dans les matériaux et créer un déséquilibre dans les sols ou dans les sédiments en aval des anciens sites miniers.

naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (comme par exemple pour l'échantillon 56S_POP_T2A ; $^{238}\text{U} = 34\,100 \pm 4\,900 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 24\,300 \pm 3\,700 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 8) et d'autre part que ce marquage n'est pas uniquement localisé au niveau de la zone marécageuse mais également en amont et en aval immédiats de cette dernière. Par ailleurs, les analyses réalisées par Areva Mines montrent que l'épaisseur de sol concerné par le marquage lié aux eaux d'exhaure varie selon la zone d'échantillonnage : d'une dizaine de centimètres au Nord du site à plus d'une cinquantaine de centimètres de profondeur au niveau de la zone marécageuse.

5.1.2.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des usages connus du site (qui se limitent au passage vers les parcelles voisines) et de l'accès à la zone marécageuse située en aval du site rendu difficile par les broussailles, le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Cependant, des débits de dose élevés ont été mesurés (jusqu'à 875 nSv/h au niveau du site et au-delà de 1 000 nSv/h pour la zone marécageuse) et un marquage significatif en radionucléides de la zone marécageuse a été relevé, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir resteront compatibles avec la situation radiamétrique et radiologique du site et de la zone marécageuse et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. Aussi, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès du maire de la commune en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique et radiologique. En outre, l'IRSN considère que les risques pour l'environnement associés aux teneurs en uranium particulièrement élevées dans les eaux de surface de la zone marécageuse mériteraient d'être évalués.

A cet égard, Areva Mines mentionne dans son BE des actions d'assainissement de la zone marécageuse [2]. L'IRSN rappelle que l'examen de ces actions sort du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA mais considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés et limiter les impacts éventuels sur l'environnement. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme et l'étude des risques pour l'environnement évoquées ci-avant restent nécessaires.

5.1.3 SITE DU MOULIN DE BRODIMON

Pour plus de détails, voir l'Annexe 6

5.1.3.1 Descriptif du site et des usages

L'ancien site est localisé au sud de la commune de Lignol, sur des terrains appartenant à un propriétaire privé. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS. Une partie des terrains situés dans la partie sud-est du site est actuellement utilisée pour un usage agricole par le propriétaire. Le reste des terrains concernés par les travaux miniers est recouvert de bois sans usage spécifique. Par ailleurs, un chemin longe le site et mène à un moulin rénové en maison d'habitation qui était inhabitée lors de la visite de l'IRSN en novembre 2015 (cf. Figure 9) : le

moulin est localisé en face du travers-banc (TB1) qui présente un mur de soutènement. L'ancien carreau minier peut servir de parking aux habitants du moulin lorsque ce dernier est habité.

5.1.3.2 Observations concernant les situations radiamétrique et radiologique du site

Radiamétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN au niveau du travers-banc devant le moulin sont de l'ordre de 4 à 8 fois le bruit de fond naturel (cf. Figure 9). Le chemin d'accès au moulin ainsi que l'ancien carreau minier présentent des valeurs de l'ordre de 1 à 5 fois le bruit de fond naturel avec quelques points présentant des débits de dose plus élevés. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines [2].

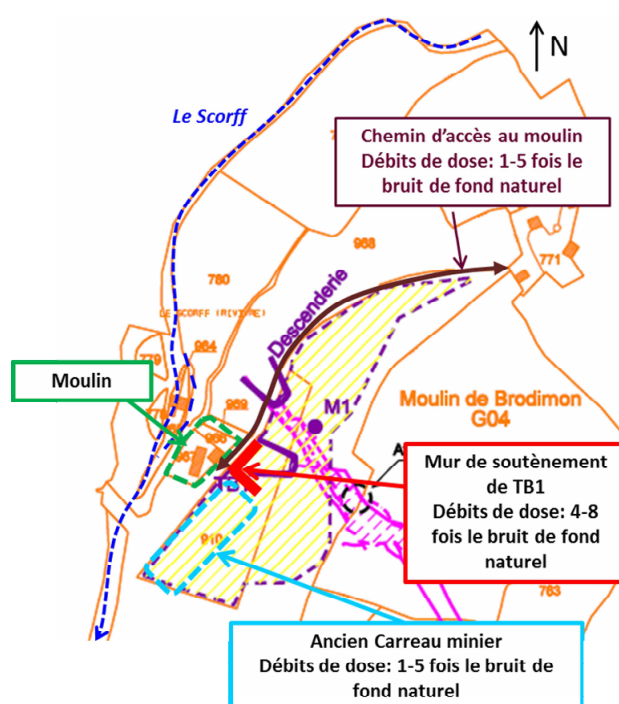


Figure 9 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN en 2015 sur le site du moulin de Brodimon et dans son environnement proche (localisation sur plan cadastral [2])

Eaux de surface et sédiments

Le site du Moulin de Brodimon est drainé principalement à l'ouest par le Scorff (cf. Figure 9). Les teneurs mesurées par l'IRSN en 2015 dans l'eau et les sédiments prélevés dans le Scorff en aval du site sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines et ne mettent pas en évidence d'impact du site sur le Scorff.

5.1.3.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des usages observés sur le site (usage agricole, bois, parking, chemin d'accès au moulin), le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Cependant, une estimation plus précise des temps de présence potentielle de personnes sur la zone des anciens travaux (chemin d'accès au moulin et parking situé sur le site, présentant des débits de dose pouvant atteindre ponctuellement jusqu'à 8 fois le bruit de fond)

permettrait d'évaluer plus précisément le risque d'exposition. L'IRSN attire l'attention sur le fait que le site du Moulin de Brodimon a fait l'objet d'une fiche travaux dans le cadre de la campagne de recensement des stériles miniers en 2012 [30]. Suite à cet état des lieux, Areva Mines a proposé de procéder au retrait des stériles présents sur le site [30]. L'IRSN considère que sur le principe ce type de travaux peut conduire à réduire les niveaux d'exposition externe des personnes. Une attention particulière devra être portée à l'état des lieux post travaux en vue d'évaluer si une inscription à l'urbanisme, pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiométrique, est nécessaire

Par ailleurs, compte tenu de la situation de la maison d'habitation (*i.e.* le moulin inhabité en 2015) à proximité immédiate de l'ancien site minier et des stériles miniers localisés lors de la campagne de recensement des stériles miniers en 2012 au niveau du travers-banc [30], l'IRSN considère qu'il serait opportun d'y réaliser un dépistage radon en cas d'occupation de la maison. L'examen des résultats de ces mesures devrait permettre de juger de la nécessité de mettre en œuvre des actions de remédiation visant à réduire l'exposition des usagers le cas échéant.

5.1.4 SITE DE KERLER

Pour plus de détails, voir l'Annexe 7

5.1.4.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Kerler est localisé sur des terrains appartenant à un propriétaire privé, au sud-ouest de la commune de Lignol dans le hameau de Stang er Hayo. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS. Durant l'exploitation minière, les eaux d'exhaure étaient pompées puis rejetées via le fossé de la route reliant Lignol à Quelfenec au niveau d'une parcelle (parcelle 84). Les eaux s'écoulaient ensuite dans le ruisseau de Kerustang localisé au nord du site (cf. Figure 10). Les usages du site sont divers : l'ancien carreau minier est débroussaillé et comporte un garage, l'ancienne aire de stockage du minerai est libre d'accès et peut être utilisée comme une aire de stationnement et les terrains où se situent le montage M1, le puits ainsi que les TMS de la parcelle 84 sont utilisés en tant que pâturages et bois. Des maisons d'habitation sont limitrophes à l'emprise du site et localisées à l'aplomb des TMS.

5.1.4.2 Observations concernant les situations radiométrique et radiologique du site

Radiométrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN au niveau de l'ancien carreau minier et de l'ancienne aire de stockage du minerai sont de l'ordre de 1 à 3 fois le bruit de fond naturel avec cependant quelques valeurs ponctuelles plus élevées comprises entre 4 et 6 fois le bruit de fond au niveau de l'ancien carreau minier notamment. Des débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond ont été mesurés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure : des valeurs comprises entre 500 et 1 400 nSv/h ont été mesurées sur une dizaine de mètres le long de la route jusqu'à 1 700 à 1 800 nSv/h au niveau de la parcelle 84. Ces débits de dose peuvent s'expliquer par les

activités massiques des radionucléides de la chaîne de l'uranium ^{238}U élevées des sols (cf. ci-après). Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines [2, 31].

Eaux de surface

Le site de Kerler est drainé au nord par le ruisseau de Kerustang (cf. Figure 10).

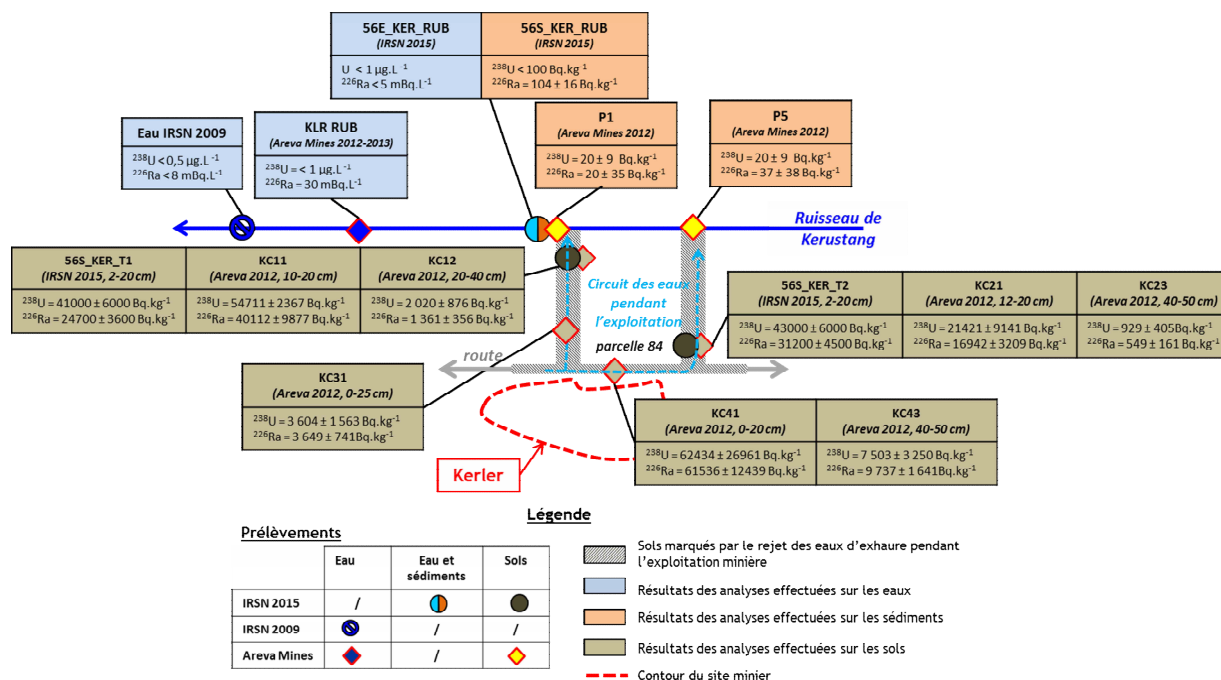


Figure 10 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Kerler (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015). Les résultats associés à l'ensemble des prélèvements effectués sont détaillés en Annexe 7.

Les résultats des mesures effectuées par l'IRSN en 2015 dans le ruisseau de Kerustang (Echantillon 56E_KER_RUB, cf. Figure 10) sont cohérents avec ceux obtenus par Areva Mines et l'IRSN en 2009 dans ce ruisseau (Echantillons KLR RUB et Eau IRSN 2009, cf. Figure 10) et avec des teneurs en uranium et des activités en radium ^{226}Ra du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Sédiments

Les analyses réalisées, par Areva Mines et l'IRSN, sur les sédiments prélevés en aval du site de Kerler indiquent des activités massiques du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire et ne mettent pas en évidence d'impact du site sur les sédiments du ruisseau de Kerustang.

Sols

Le site de Kerler a fait l'objet en 2012 d'une étude complémentaire par Areva Mines au cours de laquelle des prélèvements de sols ont été réalisés notamment au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [31]. Les résultats des mesures réalisées par Areva Mines et l'IRSN montrent d'une part que les sols concernés par le marquage des eaux d'exhaure présentent des activités massiques significativement supérieures à celles observées

dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (comme par exemple pour l'échantillon 56S_KER_T1, $^{238}\text{U} = 41\,000 \pm 6\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 24\,700 \pm 3\,600 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 10) et d'autre part que les valeurs des activités massiques peuvent varier fortement en fonction de la zone de prélèvement (comme par exemple pour les échantillons KC31 et KC41 prélevés dans les vingt premiers centimètres à deux endroits différents de l'ancien circuit des eaux d'exhaure).

5.1.4.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des usages actuels (pâturage et bois) des terrains localisés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (parcelle 84 et le long de la route à proximité des maisons), le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Cependant, au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure, des débits de dose élevés ont été mesurés (jusqu'à $1\,800 \text{ nSv/h}$ au niveau de la parcelle 84) et un marquage significatif des sols en radionucléides a été relevé. Aussi, l'IRSN considère qu'une estimation plus précise des temps de présence des personnes au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure permettrait de confirmer que le risque d'exposition prolongée de ces personnes est effectivement limité. En outre, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir resteront compatibles avec la situation radiamétrique et radiologique des terrains et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. Aussi, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès des propriétaires ainsi qu'auprès du maire de la commune en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique et radiologique.

A cet égard Areva Mines mentionne dans son BE des actions d'assainissement des terrains localisés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [2]. L'IRSN rappelle que l'examen de ces actions sort du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA mais considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions actuelles et futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme évoquée ci-avant reste nécessaire.

En outre, compte tenu des niveaux radiamétriques mesurés sur l'ancien carreau minier (jusqu'à 730 nSv/h) et des usages observés (garage), l'IRSN considère qu'une estimation plus précise des temps de présence des personnes permettrait de confirmer que le risque d'exposition prolongée des personnes est effectivement limité.

Enfin, deux maisons d'habitation (sur et à proximité du site) sont localisées à l'aplomb des travaux miniers, qui constituent un contexte favorable au transfert de radon vers la surface. Aussi, l'IRSN considère qu'il serait opportun de réaliser un dépistage dans ces maisons compte tenu des possibilités d'accumulation du radon dans celles-ci. L'examen des résultats de ces mesures devrait permettre de juger de la nécessité de mettre en œuvre des actions de remédiation visant à réduire l'exposition des usagers le cas échéant.

5.1.5 SITE DE BONOTE

Pour plus de détails, voir l'Annexe 8

5.1.5.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Bonote est localisé au sud-est de la commune de Berné, sur des terrains appartenant à Areva Mines et à des propriétaires privés. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS (cf. Figure 11, en jaune l'emprise du site). Durant l'exploitation minière, les eaux d'exhaure étaient pompées puis rejetées au sud du site au niveau de terrains (sud de la parcelle 9) dont une partie est utilisée à des fins de loisirs (extension de jardin privé) et l'autre est une friche (cf. Figure 11). L'ancien carreau minier, propriété d'Areva Mines, est clôturé et n'a pas d'usage, les autres parcelles localisées à l'aplomb des TMS ont un usage agricole.

5.1.5.2 Observations concernant les situations radiamétrique et radiologique du site

Radiamétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN autour de l'ancien carreau minier sont de l'ordre de 1 à 5 fois le bruit de fond naturel avec quelques valeurs ponctuellement plus élevées au niveau du chemin d'accès au site (jusqu'à 800 nSv/h) (cf. Figure 11). Par ailleurs, des valeurs comprises entre 700 et 1 000 nSv/h ont été mesurées dans le fossé situé au carrefour entre la route principale et celle qui mène à Nahellec (cf. Figure 11).

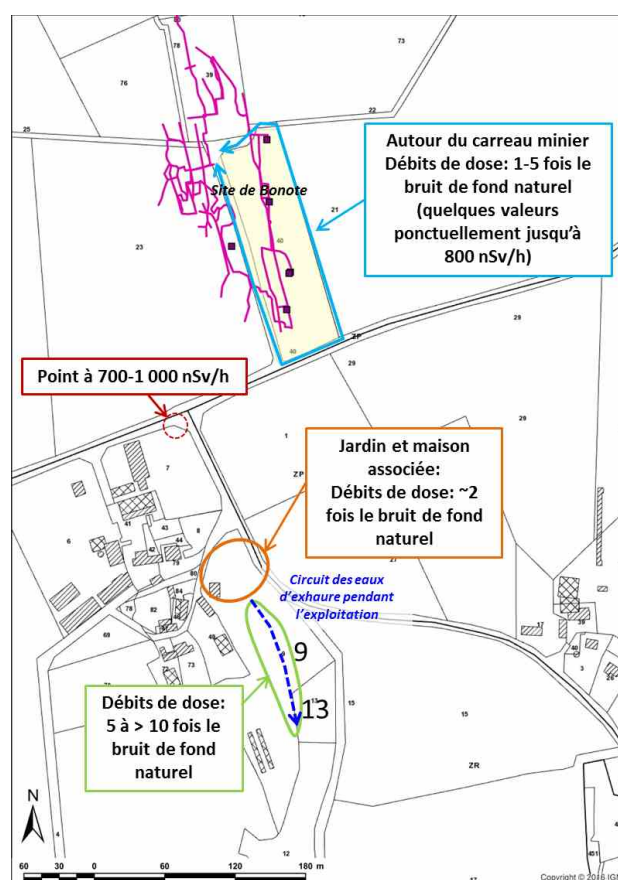


Figure 11 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN en 2015 dans l'environnement proche du site de Bonote (sur fond Géoportail ©IGN [4], tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

Les propriétaires des terrains localisés au sud du site ont permis à l'IRSN de réaliser des mesures de débits de dose dans leur jardin et dans la zone concernée par le rejet des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (cf. Figure 11). Les débits de dose mesurés dans le jardin et autour de la maison sont de l'ordre de 2 fois le bruit de fond naturel. Les débits de dose mesurés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (le long du ruisseau dont la résurgence se fait en partie basse du jardin) sont significativement supérieurs au bruit de fond. Ces débits de dose peuvent s'expliquer par les activités massiques élevées des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 dans les sols (cf. ci-dessous). Cependant certaines parcelles étaient en friche et difficiles d'accès au moment de la visite de l'IRSN (notamment la parcelle 13, cf. Annexe 8) ce qui n'a pas permis d'obtenir une carte complète des débits de dose au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure. Cependant, les mesures de terrain de l'IRSN sont cohérentes avec celles présentées par Areva Mines autour du site [2].

Eaux de surface

Le site est drainé au nord par deux ruisseaux qui ont été nommés dans ce rapport ruisseau n°1 et ruisseau n°2 et au sud par un affluent du Scorff, nommé ruisseau n°3, dont la résurgence se fait à quelques centaines de mètres en aval du site de Bonote (cf. Annexe 8 et Figure 12).

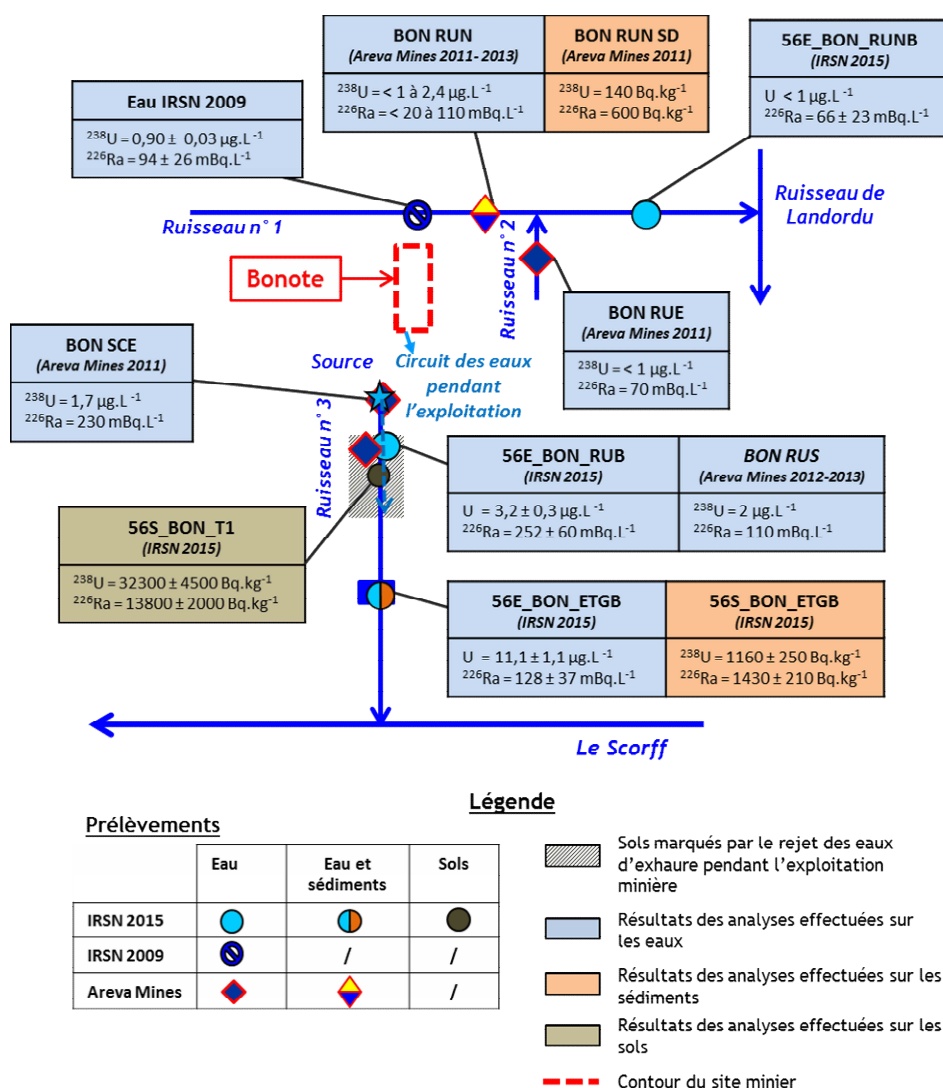


Figure 12 : Schéma de localisation et résultats associés des prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Bonote (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015).

Les activités en radium 226 mesurées par Areva Mines dans les ruisseaux localisés au nord du site sont cohérentes avec celles obtenues par l'IRSN en 2009 et 2015 et révèlent une activité en radium 226 supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière (cf. Figure 12).

Les mesures réalisées au sud du site dans le ruisseau qui draine la parcelle concernée par l'ancien circuit des eaux d'exhaure (i.e. ruisseau n°3, cf. Figure 12) révèlent une activité en radium 226 supérieure à celle généralement observée dans des eaux de surface hors influence minière. Ces mesures révèlent également une augmentation de la concentration en uranium de la source du ruisseau n°3 (BON SCE, $^{238}\text{U} = 1,7 \mu\text{g.L}^{-1}$, cf. Figure 12) vers l'aval (56E_BON_ETGB, $\text{U} = 11,1 \pm 1,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, cf. Figure 12).

Sédiments

Les analyses de sédiments réalisées par Areva Mines en aval du site de Bonote révèlent un marquage des sédiments des ruisseaux localisés au nord (Echantillon BON RUN SD, cf. Figure 12). Les analyses des sédiments réalisées par l'IRSN dans un étang localisé au sud du site (Echantillon 56S_BON_ETGB, cf. Figure 12) indiquent des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés mais sans déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra . S'agissant des ruisseaux localisés au nord du site (ruisseau n°1 et n°2, cf. Figure 12), les résultats mettent en évidence un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur du ^{226}Ra , ce qui peut être mis en relation avec le marquage en radium 226 des eaux observé dans ces ruisseaux (cf. *supra*). S'agissant de l'étang localisé au sud du site, le marquage des eaux observé dans le ruisseau n°3 (cf. *supra*) en radium 226 et en uranium pourrait expliquer les teneurs observées dans l'étang. Cependant, compte tenu de l'absence de déséquilibre, la mesure ponctuelle réalisée dans le cadre du second niveau ne permet pas conclure quant à l'incidence du marquage du ruisseau sur les sédiments de l'étang.

Sols

L'IRSN a réalisé, en 2015, un prélèvement de sols au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure. Les résultats des mesures réalisées par l'IRSN révèlent des activités massiques plus de 60 fois supérieures aux activités massiques de sols hors influence minière (Echantillon 56S_BON_T1 ; $^{238}\text{U} = 32\,300 \pm 4\,500 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 13\,800 \pm 2\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 12). A noter que le site de Bonote a fait l'objet en 2012 d'une étude complémentaire par Areva Mines mais qu'aucun prélèvement de sols n'a pu être effectué à cette occasion, les propriétaires n'ayant pas autorisé l'accès à la parcelle [31].

5.1.5.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des faibles niveaux radiamétriques mesurés par l'IRSN (maison et jardin associé) ou des usages actuels (passage vers les parcelles voisines, bord de route...) des zones investiguées, le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Néanmoins, l'IRSN considère qu'une estimation plus précise des temps de présence des personnes au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure correspondant à l'extension d'un jardin privé (partie sud de la parcelle 9), qui présente des débits de dose élevés et un marquage significatif des sols en radionucléides, permettrait de confirmer que le risque d'exposition prolongée de ces personnes est effectivement limité. En outre, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir resteront compatibles avec la situation radiamétrique et radiologique sur l'ensemble des terrains

concernés par le circuit des eaux d'exhaure (parcelle 9 et 13) et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. Aussi, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès des propriétaires ainsi qu'auprès du maire de la commune en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique et radiologique.

A cet égard Areva Mines mentionne dans son BE des actions d'assainissement des terrains localisés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [2]. L'IRSN rappelle que l'examen de ces actions sort du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA mais considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions actuelles et futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme évoquée ci-avant reste nécessaire.

5.1.6 SITE DE ROSGLAS

Pour plus de détails, voir l'Annexe 9

5.1.6.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Rosglas est localisé à la limite des départements du Finistère et du Morbihan, au sud-est de la commune de Meslan (Morbihan) et au nord de la commune de Guilligomarc'h (Finistère). Les terrains sur lesquels se situe le site appartiennent à des propriétaires privés. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS et d'une tranchée. Le site présente également une verse à stériles (cf. Figure 13). Les terrains localisés dans l'emprise du site (ancien carreau, verse à stériles, tranchée) sont localisés dans un bois et présentent une végétation dense mais restent accessibles (parcelle non clôturée). Les terrains localisés à l'aplomb des anciens travaux miniers souterrains sont actuellement utilisés pour un usage agricole. Durant l'exploitation minière, les eaux d'exhaure étaient pompées puis rejetées au nord du site au niveau d'un chemin qui est actuellement un chemin de randonnée.

5.1.6.2 Observations concernant les situations radiamétrique et radiologique du site

Radiamétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN au niveau de l'ancien carreau minier sont de l'ordre de 1 à 6 fois le bruit de fond naturel avec quelques valeurs ponctuellement plus élevées (supérieures à 900 nSv/h) (cf. Figure 13). Les débits de dose mesurés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure correspondant au chemin de randonnée, depuis la verse à stériles jusqu'à environ 250 m en contrebas sont significativement supérieurs au bruit de fond (cf. Figure 13). Ces débits de dose peuvent s'expliquer par l'activité massique élevée des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 dans les sols (cf. ci-dessous). Ce marquage radiamétrique est localisé au creux du chemin (les talus de part et d'autre présentent des débits de dose de l'ordre du bruit de fond naturel) et cesse au niveau de la résurgence du ruisseau (cf. Annexe 9 et

Figure 14). Les débits de doses mesurés sur le chemin d'accès au site au sud et autour des étangs localisés au nord sont de l'ordre du bruit de fond naturel. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines [2].

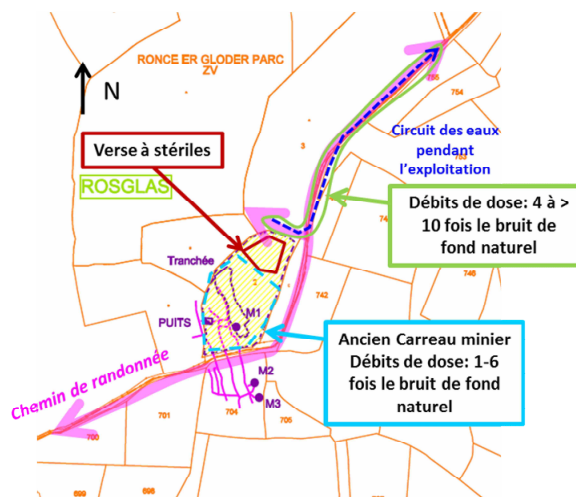


Figure 13 : Ordre de grandeur des débits de dose mesurés par l'IRSN en 2015 sur le site de Rosglas et dans son environnement proche (localisation sur plan cadastral [2])

Eaux de surface

Le site de Rosglas est drainé au nord par un ruisseau alimenté par une source et deux étangs (cf.

Figure 14).

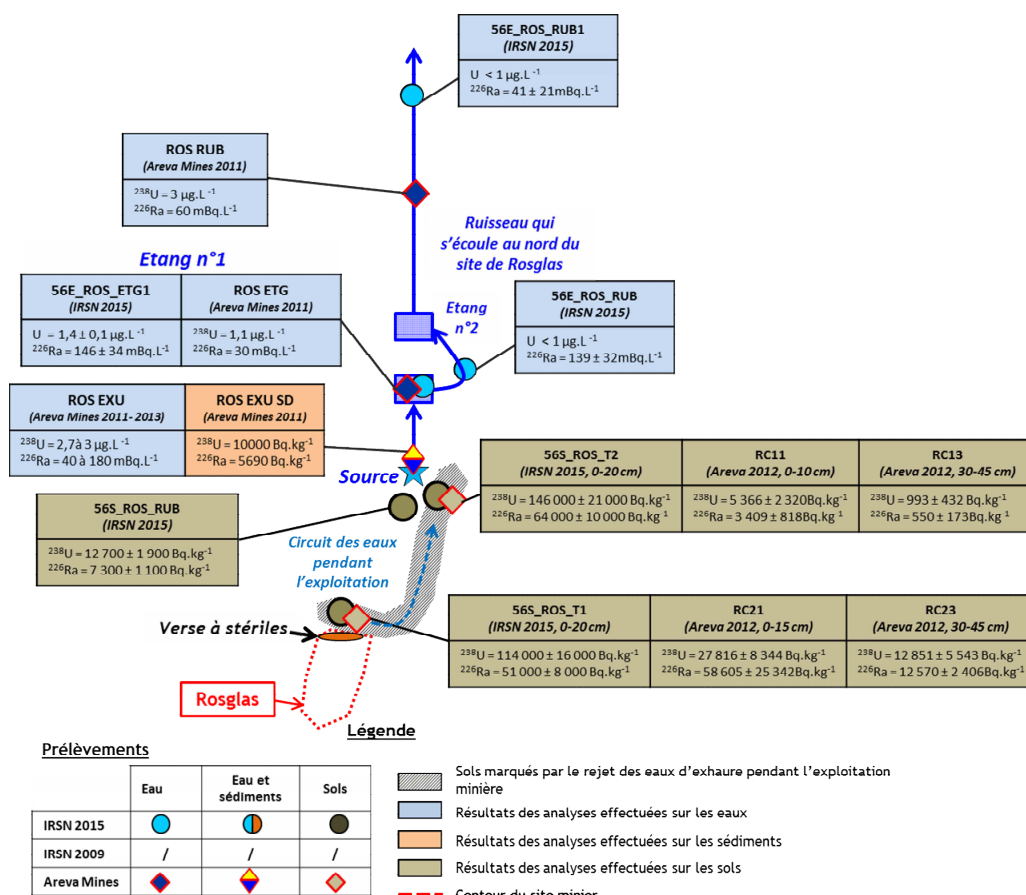


Figure 14 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Rosglas (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2015). Les résultats associés à l'ensemble des prélèvements effectués sont détaillés en Annexe 9

Les mesures réalisées au nord du site de Rosglas montrent des teneurs en uranium dans les eaux du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2 et

Figure 14). En revanche, l'activité du radium 226 mesurée dans les eaux par Areva Mines et l'IRSN en aval proche du site (Echantillons ROS EXU, 56E_ROS_ETG et 56E_ROS_RUB, cf.

Figure 14) est supérieure aux activités généralement mesurées dans des eaux de surface hors influence minière. L'activité en radium 226 diminue du point ROS EXU (*i.e.* la source cf.

Figure 14, $^{226}\text{Ra} = 40 \text{ à } 180 \text{ mBq.L}^{-1}$) vers le point ROS RUB ($^{226}\text{Ra} = 60 \text{ mBq.L}^{-1}$, cf.

Figure 14). Ce marquage en radium 226 des eaux n'est plus perceptible en aval plus éloigné avec une activité en radium 226 mesurée au niveau du point 56E_ROS_RUB1 du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire ($^{226}\text{Ra} = 41 \pm 21 \text{ mBq.L}^{-1}$, cf. Annexe 2).

Sédiments

Les analyses de sédiments réalisées par Areva Mines révèlent un marquage des sédiments en ^{238}U et ^{226}Ra en aval du site de Rosglas au niveau de la source (Echantillon ROS EXU SD, $^{238}\text{U} = 10\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 5\,690 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 14). Ces résultats sont cohérents avec des mesures réalisées sur des terres de berges en aval du site de Rosglas par l'association Sortir du Nucléaire Cornouaille et la CRIIRAD en 2008 [6] (cf. Annexe 9).

Sols

Le site de Rosglas a fait l'objet en 2012 d'une étude complémentaire par Areva Mines au cours de laquelle des prélèvements de sols ont été réalisés notamment au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [31]. L'association Sortir du Nucléaire Cornouaille et la CRIIRAD ont également réalisé une analyse de sols en 2008 au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [6] (cf. Annexe 9). Les résultats de l'ensemble des mesures montrent que les sols concernés par le marquage des eaux d'exhaure présentent des activités massiques significativement supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (comme par exemple pour l'échantillon 56S_ROS_T1, $^{238}\text{U} = 114\,000 \pm 16\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 51\,000 \pm 8\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf.

Figure 14). Pour les échantillons prélevés au niveau de la source (Echantillons RC11 à RC13, cf.

Figure 14 et Annexe 9), les activités massiques semblent diminuer avec la profondeur (à partir de 30-45 cm). Pour la zone située au pied de la verse les activités massiques à 30-45 cm de profondeur (Echantillon RC23, cf.

Figure 14) sont encore significativement supérieures à celles observées dans le milieu naturel pour les radionucléides mesurés : la couche de sol présentant des valeurs de fortes activités massiques est plus épaisse dans la zone située au pied de la verse que dans la partie nord.

Un prélèvement de sols a également été effectué par l'IRSN dans un fossé localisé en amont de la source et présentant des débits de dose compris entre 400 et 650 nSv/h (Echantillon 56S_ROS_RUB, cf.

Figure 14). Cet échantillon ne présentait pas le même aspect que ceux prélevés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (cf. Annexe 9). Les résultats des mesures réalisées sur cet échantillon montrent que le sol du fossé, bien que *a priori* non concerné par le circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation, présentent également des activités massiques significativement supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés.

5.1.6.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu de l'absence d'usage actuel du site (friche avec une végétation dense), le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Pour ce qui concerne l'ancien circuit des eaux d'exhaure correspondant à un chemin de randonnée, des débits de dose élevés ont été mesurés et un marquage significatif des sols en radionucléides a été relevé, aussi l'IRSN considère qu'une estimation plus précise des temps de présence des personnes permettrait de confirmer que le risque d'exposition prolongée de ces personnes est effectivement limité. En outre, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir resteront compatibles avec la situation radiamétrique et radiologique sur l'ancien carreau minier et l'ensemble des terrains concernés par le circuit des eaux d'exhaure n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. Aussi, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès des propriétaires ainsi qu'auprès des maires des deux communes en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique et radiologique.

A cet égard Areva Mines mentionne dans son BE des actions d'assainissement des terrains localisés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [2]. L'IRSN rappelle que l'examen de ces actions sort du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA mais considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions actuelles et futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme évoquée ci-avant reste nécessaire.

Par ailleurs, l'IRSN considère que la présence d'une verse à stériles sur le site induit un risque de réutilisation des matériaux par le public. Aussi, l'IRSN suggère d'informer les propriétaires et la mairie de la présence de ces stériles afin de prévenir leur utilisation.

5.1.7 SITE DE SALLE PONTO

Pour plus de détails, voir l'Annexe 10

5.1.7.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Salle Ponto est localisé au sud-ouest de la commune de Melrand, sur des terrains appartenant à un propriétaire privé. Les terrains, fortement boisés, n'ont pas d'usage particulier. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TRPC comprenant plusieurs tranchées, un travers-banc et un puits foncé dans le travers banc. Une plateforme est présente à l'entrée du travers-banc. Seule l'entrée du travers-banc est visible et accessible sur 4 m de profondeur (galerie ouverte de 1,5 m de haut sur 2 m de large).

5.1.7.2 Observations concernant les situations radimétrique et radiologique du site

Radimétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN sur le site varient de 2 à 10 fois le bruit de fond naturel. Les mesures réalisées permettent de localiser précisément la plateforme en stériles mentionnée dans le BE avec une zone de 100 m² (20 m x 5 m) environ où les débits de dose sont plus élevés et compris entre 500 et 700 nSv/h (cf. Figure 15). Par ailleurs des débits de dose compris entre 800 et 1 200 nSv/h ont été mesurés à l'entrée du travers-banc sur une dizaine de mètres carrés. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines en 2012 [2].

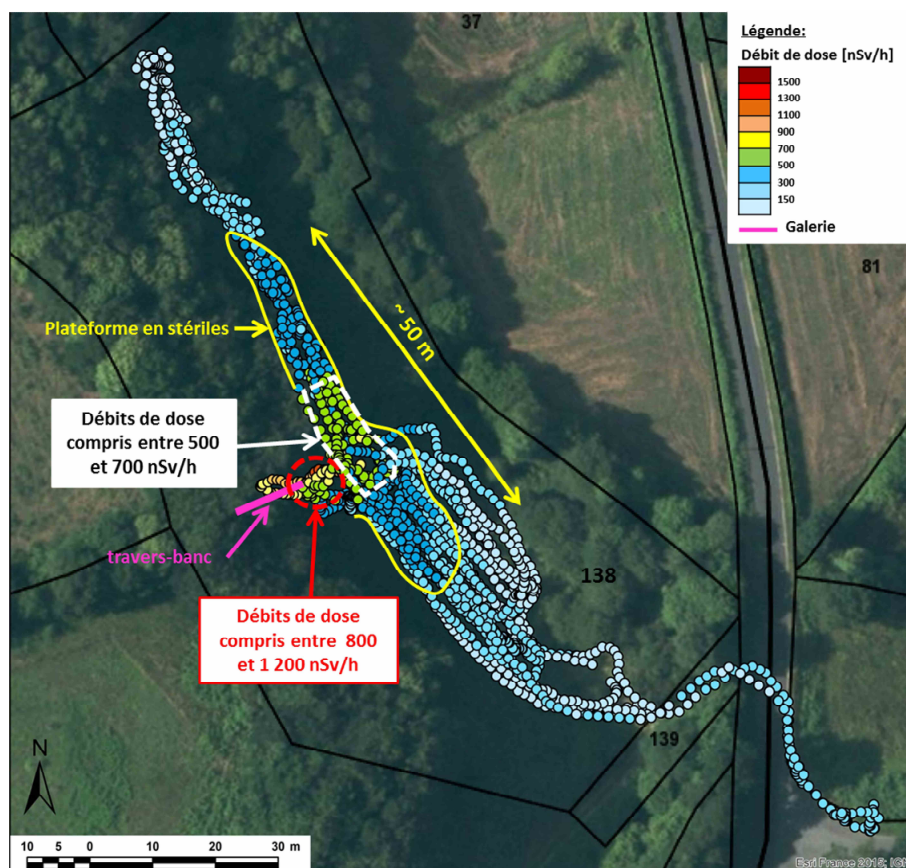


Figure 15 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur le site de Salle Ponto avec l'outil MARCASSIN ; localisation de la plateforme en stériles (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

Eaux de surface

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées par l'IRSN en 2015 dans l'eau des ruisseaux en aval du site et dans la source sont de l'ordre de celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire. Elles sont cohérentes avec les valeurs rapportées par Areva Mines dans son BE [2].

5.1.7.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radimétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu de l'absence d'usage actuel du site (terrains boisés), le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Néanmoins, l'entrée du travers-banc est facile d'accès et suffisamment large pour

permettre l'accès de personnes et présente des débits de dose entre 800 et 1 200 nSv/h. La plateforme en stériles mise en place devant l'entrée du travers-banc (environ 100 m²) présente également des débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond (500 à 700 nSv/h). Aussi, l'IRSN considère qu'une estimation plus précise des temps de présence des personnes au niveau du site permettrait de confirmer que le risque d'exposition prolongée de ces personnes est effectivement limité.

En outre, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir resteront compatibles avec la situation radiamétrique du site et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. Aussi, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès du propriétaire ainsi qu'auprès du maire de la commune en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique.

A cet égard, Areva Mines mentionne dans son BE des actions de mise en sécurité du travers-banc [2]. L'IRSN considère que la condamnation de l'entrée du travers-banc telle que proposée par Areva Mines contribuerait à réduire les risques d'exposition des personnes accédant au site et que ces actions constituent une opportunité pour améliorer la situation radiamétrique de la zone. En effet, l'IRSN considère que de manière générale, le retrait des matériaux responsables de débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond sur une zone de faible étendue est à encourager dès lors que ce retrait est aisé. Dans le cas du site de Salle Ponto, une réflexion sur le retrait des matériaux à l'origine des forts débits de dose à l'entrée du travers-banc et sur la plateforme pourrait être engagée à l'occasion des travaux de condamnation de l'entrée du travers-banc.

L'IRSN considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme évoquée ci-avant reste nécessaire.

5.1.8 SITE DE MANE MABO

Pour plus de détails, voir l'Annexe 11

5.1.8.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Mane Mabo est localisé à l'ouest de la commune de Quistinic sur des terrains appartenant à un propriétaire privé. Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS. Les terrains concernés par les travaux miniers sont utilisés par le propriétaire à des fins personnelles (poulailler, potager, entreposage de matériaux). Une maison d'habitation est localisée sur la parcelle attenante aux travaux miniers. Un tas de stériles est présent au sud-ouest du carreau minier.

5.1.8.2 Observations concernant les situations radiamétrique et radiologique du site

Radiamétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN sur le chemin d'accès à l'ancien carreau minier sont de l'ordre de 1 à 3 fois le bruit de fond naturel. Les débits de dose mesurés au niveau de l'ancien carreau minier sont significativement supérieurs au bruit de fond avec des valeurs pouvant atteindre 1 500 nSv/h. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines.

Autour de la maison, les débits de dose mesurés par Areva Mines en 2012 sont de l'ordre de 2 à 3 fois le bruit de fond naturel. Lors de l'étude complémentaire, une valeur de 10 fois le bruit de fond naturel a été relevée sur la pelouse autour de la maison, sur une faible surface (10 cm x 10 cm) (cf. Annexe 11) [31]. Areva Mines indique que ce débit de dose est probablement généré par « un caillou radioactif » [31].

Eaux de surface

Le site de Mane Mabo est drainé par un affluent du Blavet qui s'écoule à l'ouest du site (cf. Figure 16).

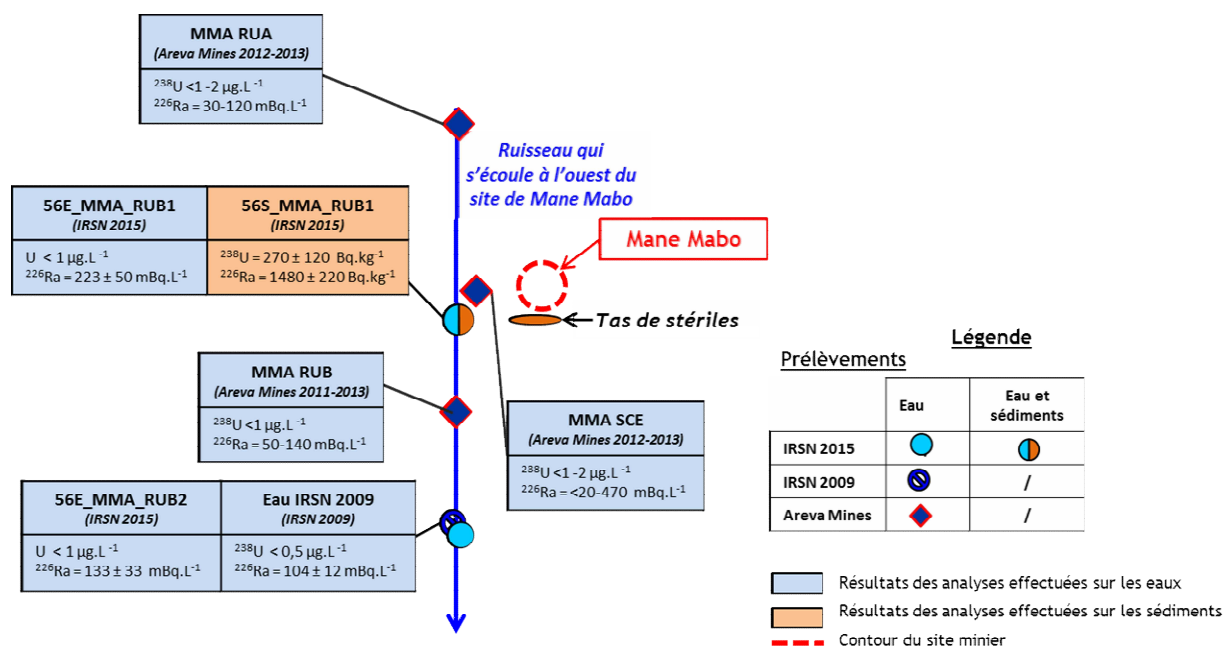


Figure 16 : Schéma de localisation et résultats associés des prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Mane Mabo (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015)

Les mesures réalisées dans le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site révèlent des teneurs en uranium dans les eaux du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2 et cf. Figure 16). En revanche, l'activité en radium 226 mesurée dans les eaux par Areva Mines en 2011-2013 et l'IRSN en 2009 et 2015 est supérieure à celle généralement observée dans des eaux de surface hors influence minière. Les activités en radium 226 diminuent avec l'éloignement au site (cf. Figure 16).

Sédiments

Dans le cadre des contrôles de second niveau, l'IRSN a effectué un prélèvement de sédiment dans le ruisseau au droit du site de Mane Mabo (cf. Figure 16). Les résultats obtenus sur cet échantillon révèlent des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour le radium 226 et ses descendants (56S_MMA_RUB1, $^{238}\text{U} = 270 \pm 120 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 1480 \pm 220 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 16). Ces résultats obtenus par l'IRSN sont cohérents avec le marquage en radium 226 des eaux observé dans ce ruisseau (cf. *supra*).

5.1.8.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond au niveau de l'ancien carreau minier (jusqu'à 1 500 nSv/h au niveau de l'ancien carreau minier) et de l'usage constaté (poulailler et potager notamment), l'IRSN considère que la compatibilité entre les niveaux mesurés et les usages devrait être évaluée. En tout état de cause, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir (par exemple une nouvelle construction) resteront compatibles avec la situation radiamétrique du site et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. A cet égard, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès des propriétaires ainsi qu'auprès du maire de la commune en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique du site.

A cet égard, Areva Mines mentionne dans son BE des actions d'assainissement des terrains localisés au niveau de l'ancien carreau minier [2]. L'IRSN rappelle que l'examen de ces actions sort du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA mais considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme évoquée ci-avant reste nécessaire.

En outre, l'IRSN considère que la présence d'un tas de stériles dans l'environnement induit un risque de réutilisation des matériaux par le public. De manière générale, l'IRSN considère que le retrait des matériaux responsables de débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond sur une zone de faible étendue est à encourager dès lors que ce retrait est aisé. Aussi, l'IRSN suggère d'une part d'informer la mairie de la présence de ces stériles afin de prévenir leur utilisation et d'autre part, d'engager une réflexion sur la faisabilité de leur retrait. A cet égard, l'IRSN suggère de profiter des éventuels travaux d'assainissement du carreau minier mentionnés par Areva Mines afin de procéder également au retrait de ce tas de stériles.

Par ailleurs, compte tenu de la situation de la maison d'habitation à proximité immédiate de l'ancien site minier, l'IRSN considère qu'il serait opportun d'y réaliser un dépistage radon. L'examen des résultats de ces mesures devrait permettre de juger de la nécessité de mettre en œuvre des actions de remédiation visant à réduire l'exposition des usagers le cas échéant.

5.1.9 SITE DE TY GALLEN

Pour plus de détails, voir l'Annexe 12

5.1.9.1 Descriptif du site et des usages

Le site de Ty Gallen est localisé au nord-ouest de la commune de Bubry. Les terrains sur lesquels se situe le site appartiennent à des propriétaires privés (chemin d'accès) et à Areva Mines (ancien carreau minier). Les travaux miniers ont consisté en l'exploitation de TMS et ont été précédés de sondages et de tranchées de reconnaissance. L'accès au carreau minier se fait librement via un chemin de terre, les terrains situés à l'aplomb des anciens

travaux miniers sont constitués de bois et de prairie ; ils sont traversés par des randonneurs. Le site présente également une verse à stériles.

L'ancien circuit des eaux d'exhaure longe le chemin d'accès actuel vers le hameau de Guern en Tal (situé à 200 m en aval du site). Du temps de l'exploitation les eaux étaient canalisées pour ressortir au niveau d'une zone humide localisée à quelques dizaines de mètres du hameau (cf. Figure 17). Une source est localisée à côté de l'exutoire : au cours de la visite de l'IRSN en 2015, cette dernière n'avait pas d'usage. La maison localisée au niveau du hameau est une maison secondaire peu fréquentée.

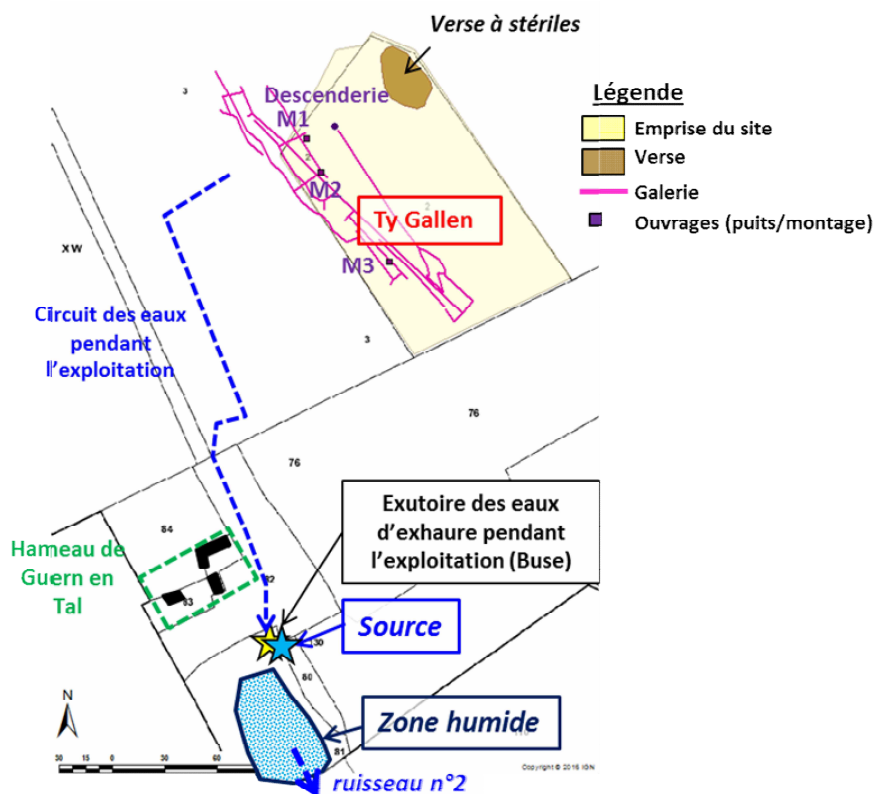


Figure 17 : Situation des travaux miniers du site de Ty Gallen ainsi que du circuit des eaux pendant l'exploitation sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

5.1.9.2 Observations concernant les situations radimétrique et radiologique du site

Radimétrie

Les débits de dose mesurés par l'IRSN sur le chemin d'accès au site sont de l'ordre de 2 à 8 fois le bruit de fond naturel. Les débits de dose mesurés par Areva Mines sur l'ancien carreau minier sont de l'ordre de 1 à 4 fois le bruit de fond naturel avec quelques points ponctuels à 10 fois le bruit de fond naturel au niveau de l'entrée du site [2]. Les débits de dose mesurés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure et de la zone humide sont significativement supérieurs au bruit de fond. Ces débits de dose peuvent s'expliquer par l'activité massique élevée des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 des sols (cf. ci-dessous). Pour ce qui concerne le chemin menant au hameau de Guern en Tal, ce marquage radimétrique est localisé au niveau du fossé qui présente des valeurs allant de 600 à 1 000 nSv/h alors que le chemin et le talus présentent des valeurs équivalentes au bruit de fond naturel. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines [2].

Eaux de surface

Le site de Ty Gallen est drainé par deux affluents du ruisseau du Brulé (appelés par la suite ruisseau n°1 et ruisseau n°2) qui coulent tous les deux au sud du site (cf. Figure 18). Le ruisseau n°2 est actuellement alimenté par une source localisée à proximité de l'ancien exutoire des eaux d'exhaure et par la zone humide localisée quelques mètres en contrebas de cette source (cf. Figure 17). Les observations concernant les mesures réalisées dans les eaux de surface en aval du site de Ty Gallen peuvent être regroupées en deux secteurs (cf. Figure 18) :

- l'étang et le ruisseau n°1 ;
- les eaux de surface sous l'influence potentielle de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (source, exutoire, zone humide, ruisseau n°2 et ruisseau du Brulé).
-

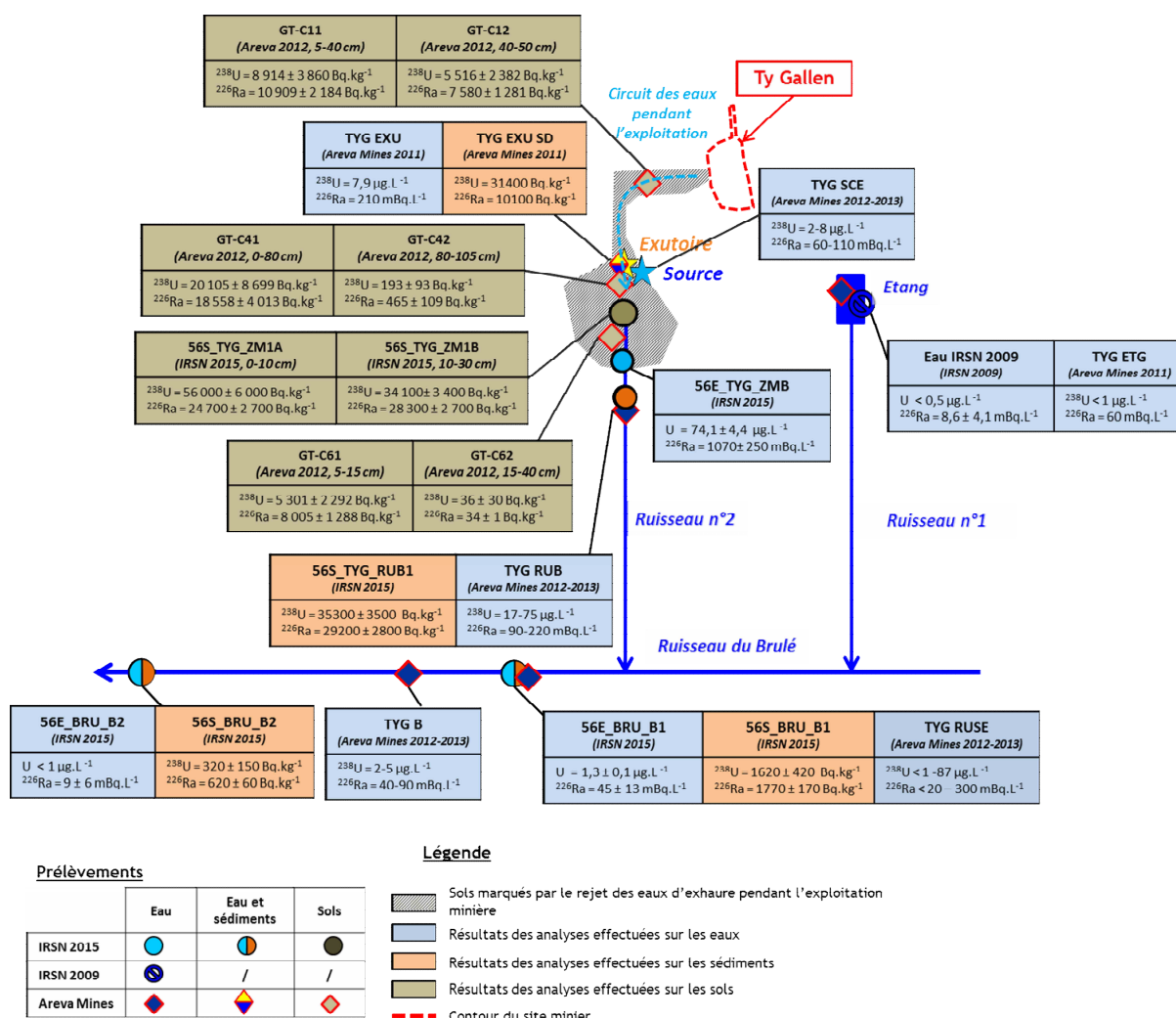


Figure 18 : Schéma de localisation et résultats associés de quelques prélèvements d'eau, de sédiments et de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Ty Gallen (données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN 2009 [7] et 2015). Les résultats associés à l'ensemble des prélèvements effectués sont détaillés en Annexe 12.

L'étang et le ruisseau n°1 :

Les activités en radium ^{226}Ra mesurées par Areva Mines dans l'étang localisé au sud-est du site sont légèrement supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière alors que la mesure réalisée par l'IRSN en 2009 indiquait une activité de l'ordre du bruit de fond (cf. Figure 18).

Les eaux de surface sous l'influence potentielle de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (source, exutoire, zone humide, ruisseau n°2 et ruisseau du Brulé)

Les résultats de mesures réalisées par Areva Mines et l'IRSN conduisent aux observations suivantes (cf. Figure 18) :

- une augmentation des teneurs (en particulier pour l'uranium 238) entre la zone de la source/exutoire (correspondant aux points de prélèvement TYG EXU/TYG SCE) et la sortie de la zone humide (l'échantillon 56E_TYG_ZMB) ;
- une diminution des teneurs en aval de la zone humide avec des teneurs du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière en aval éloigné (Echantillon 56E_BRU_B2).

Par ailleurs, l'IRSN constate une variation importante des activités en radium 226 et en uranium 238 dans les prélèvements effectués par Areva Mines. A titre illustratif, l'activité en radium 226 est comprise entre < 20 et 300 mBq/L et la teneur en uranium est comprise entre <1 et 87 $\mu\text{g.L}^{-1}$ au point TYG RUSE (cf. Figure 18). Ces variations pourraient être liées à la quantité d'eau qui draine la zone humide et donc à la période de prélèvement (effet de dilution en cas de forte pluie ou de concentration en cas de sécheresse).

L'IRSN constate également une différence significative entre les résultats de l'IRSN et ceux d'Areva Mines relatifs aux activités en radium 226 dans les eaux à la sortie de la zone humide ($^{226}\text{Ra} = 1\,070 \pm 250 \text{ mBq.L}^{-1}$ au point IRSN 56E_TYG_ZMB et ^{226}Ra compris entre 90 et 220 mBq.L⁻¹ au point Areva Mines TYG RUB) qui peut s'expliquer par la fraction analysée. En effet les analyses radiologiques réalisées par l'IRSN ont été effectuées sur la fraction totale (fraction dissoute + particulaire) alors qu'Areva Mines a réalisé ses analyses uniquement sur la fraction dissoute. La fraction particulaire peut contenir des particules sur lesquelles s'adsorbent les radionucléides et expliquer les différences observées entre les résultats IRSN et Areva Mines.

Sédiments

Les analyses de sédiments prélevés, par Areva Mines et l'IRSN en aval du site de Ty Gallen sur le circuit des eaux d'exhaure et plus en aval dans le ruisseau du Brulé révèlent un marquage des sédiments en ^{238}U et ^{226}Ra . Ainsi les activités massiques mesurées en aval proche de la zone humide sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les sols de la zone humide (échantillon 56S_TYG_RUB1 $^{238}\text{U} = 35\,300 \pm 3\,500 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 29\,200 \pm 2\,800 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 18). Ce marquage tend à diminuer avec la distance mais reste observable au point d'échantillonnage de l'IRSN 56S_BRU_B2 localisé environ à 3,5 km dans le ruisseau du Brulé en aval de la zone humide ($^{238}\text{U} = 320 \pm 150 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 620 \pm 60 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Annexe 12).

Sols

Le site de Ty Gallen a fait l'objet en 2012 d'une étude complémentaire par Areva Mines au cours de laquelle des prélèvements de sols ont été réalisés notamment au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [31]. L'association RozGlas et la CRIIRAD ont également réalisé une analyse de sols en 2009 au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure [5] (cf. Annexe 12). Les résultats de l'ensemble des mesures réalisées montrent que les sols concernés par le circuit des eaux d'exhaure présentent des activités massiques significativement supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (comme par

exemple pour l'échantillon 56S_TYG_ZM1A, $^{238}\text{U} = 56\,000 \pm 6\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 24\,700 \pm 2\,700 \text{ Bq.kg}^{-1}$, cf. Figure 18).

5.1.9.3 Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des usages actuels (bois, bord de route, zone de passage...) des zones investiguées, le risque d'exposition prolongée de personnes est vraisemblablement limité. Pour ce qui concerne l'ancien circuit des eaux d'exhaure, des débits de dose élevés ont été mesurés et un marquage significatif des sols en radionucléides a été relevé, aussi l'IRSN considère qu'une estimation plus précise des temps de présence des personnes permettrait de confirmer que le risque d'exposition prolongée de ces personnes est effectivement limité en particulier au niveau de la maison secondaire. En outre, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir resteront compatibles avec la situation radiamétrique et radiologique du site et des terrains concernés par le circuit des eaux d'exhaure et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. Aussi, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès des propriétaires ainsi qu'auprès du maire de la commune en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur incompatible avec la situation radiamétrique et radiologique. En outre, l'IRSN considère que les risques pour l'environnement associés aux teneurs en uranium particulièrement élevées dans les eaux de surface de la zone humide mériteraient d'être évalués.

A cet égard, Areva Mines mentionne dans son BE des actions d'assainissement des terrains localisés sur le circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation [2]. L'IRSN rappelle que l'examen de ces actions sort du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA mais considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions actuelles et futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains concernés et limiter les impacts éventuels sur l'environnement. Un état des lieux post travaux devrait permettre d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme et l'étude des risques pour l'environnement évoquées ci-avant restent nécessaires.

5.2 IMPACT DES ANCIENS SITES MINIERES EN CHAMPS ELOIGNE

Les anciens sites miniers du Finistère et du Morbihan sont répartis dans quatre grands bassins versant (cf. § 4.1) et peuvent avoir une incidence sur les quatre rivières principales qui les drainent à savoir Le Scorff, l'Ellé, Le Blavet et La Penfeld. La Penfeld a été échantillonnée dans le cadre du diagnostic des sites orphelins bretons en juin 2015 ; certains des résultats issus de cette campagne sont rappelés au chapitre 4 de l'Annexe 3.

Pour les trois autres bassins versants, des prélèvements ont été réalisés dans le cadre des contrôles de second niveau afin d'évaluer l'impact de ces sites sur les bassins versants du Scorff, de l'Ellé et du Blavet ainsi que sur quelques un de leurs affluents principaux. La localisation des prélèvements, le détail des mesures ainsi que les conclusions associées sont présentés en Annexe 3. L'analyse des résultats permet de retenir les points suivant :

- il n'y a pas d'impact constaté des travaux miniers sur les rivières Le Scorff, l'Ellé et le Blavet en aval total des sites ;
- il n'y a pas d'impact constaté des travaux miniers sur les ruisseaux du Chapelain, du Landordu, de Kerustang, de Kerloas, de la Gare, et la Sarre en aval des sites ;

- pour ce qui concerne le bassin versant du Scorff, seuls deux points de prélèvement présentent des teneurs en uranium ou des activités en radium 226 légèrement supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière :
 - le point localisé en aval du site de Sulliado, prélevé dans un ruisseau affluent du Chapelain, présente une teneur en uranium de $3,8 \pm 0,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Echantillon 56E_SUL_RUB2, cf. §1.2 de l'Annexe 3) et ponctuellement une activité en radium 226 supérieure à celles observées dans les eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (Echantillon SUL RUN d'Areva Mines de 2011). Cependant l'impact de ce site sur le ruisseau n'est plus visible après sa confluence avec le ruisseau du Chapelain (échantillon 56E_CHA_B1, $\text{U} < 1 \mu\text{g.L}^{-1}$, $^{226}\text{Ra} = 9 \pm 8 \text{ mBq.L}^{-1}$) ;
 - le point localisé en aval des sites de Kerjean et de Poulbet dans le ruisseau de Kerlnevez présente une activité en radium 226 de $71 \pm 20 \text{ mBq.L}^{-1}$. Cependant l'impact de ces sites n'est pas visible sur le Scorff (cf. §1.5 de l'Annexe 3).
- les résultats obtenus dans le bassin versant du site de Keryacunff (cf. §3.3 de l'Annexe 3) mettent en évidence un marquage en radium 226 des sédiments des étangs localisés en aval du site de Keryacunff et en particulier l'étang n°2 (Echantillon 56S_KYU_ETGB2, $^{238}\text{U} = 660 \pm 150 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 1510 \pm 230 \text{ Bq.kg}^{-1}$). Ces résultats sur les sédiments sont à mettre en regard des résultats des analyses effectuées sur les eaux de ces étangs qui révèlent également un marquage en radium 226 pour l'étang n°2. Ce marquage des eaux n'est plus observable dans la Sarre, affluent du Blavet (cf. § 3.2 de l'Annexe 3).

Les travaux miniers du site de Keryacunff ont consisté en l'exploitation d'une MCO qui a été comblée par des stériles miniers entre 1992 et 1993 après avoir été vidangée. Le marquage des sédiments en aval de ce site peut avoir deux origines : lié à la vidange de la MCO dans les années 90 ou des écoulements diffus. La deuxième hypothèse semble plus vraisemblable compte tenu de la localisation géographique du site (site en tête du bassin versant et en hauteur) et du marquage en radium 226 actuel des eaux localisées en aval du site de Keryacunff. En tout état de cause, les mesures réalisées par l'IRSN dans le cadre des contrôles de second niveau ne permettent pas de conclure sur l'origine de ce marquage.

Observations concernant la compatibilité entre les situations radiamétrique et radiologique et les usages actuels et proposition d'investigations complémentaires

Compte tenu des teneurs en radionucléides mesurées dans les sédiments des étangs privés localisés en aval du site de Keryacunff et de l'usage de ces étangs (activités de loisir), l'IRSN considère que la compatibilité entre les niveaux mesurés et les usages devrait être évaluée.

6 CONCLUSIONS

L'IRSN a réalisé, le 28 septembre 2015 et du 16 au 20 novembre 2015, des missions de terrain sur les anciens sites miniers d'uranium recensés dans les départements du Morbihan et du Finistère. Ces missions, qui s'inscrivent dans le cadre du programme MIMAUSA, avaient pour objectif la réalisation de contrôles de second niveau sur la base des informations fournies dans le bilan environnemental (BE) produit par Areva Mines en février 2014 [2].

Les contrôles ont concerné les sites de Prat Mérien, Poulprio, Moulin de Brodimon, Kerler, Bonote, Rosglas, Salle Ponto, Mane Mabo et Ty Gallen ainsi que l'environnement proche de ces sites, principalement en raison des usages connus et des niveaux radiamétriques et/ou radiologiques mentionnés dans le BE. L'environnement éloigné des autres sites miniers du Morbihan et du Finistère a également fait l'objet de contrôles (à l'aval de plusieurs sites). Ces contrôles ont consisté à vérifier par échantillonnage que la situation radiamétrique et radiologique des sites et de leur environnement est conforme à ce qui est présenté dans le BE d'Areva Mines et à recueillir des informations sur les modifications éventuelles survenues postérieurement à la réalisation du BE. Les observations et résultats obtenus confirment globalement les informations contenues dans le BE d'Areva Mines. Néanmoins, les contrôles effectués par l'IRSN conduisent à proposer la réalisation d'investigations complémentaires en vue de mieux rendre compte de certains enjeux en matière de radioprotection associés à certains des anciens sites miniers, ainsi que des actions destinées à prévenir une exposition potentielle des personnes.

De manière générale, les observations et les mesures effectuées sur les sites visités et dans leur environnement proche ne mettent pas en évidence des situations qui entraîneraient *a priori* une incompatibilité entre les usages et les niveaux radiamétriques et/ou radiologiques mesurés. Cependant, sur un certain nombre de ces sites (Moulin de Brodimon, Kerler, Bonote, Rosglas, Salle Ponto, Mane Mabo et Ty Gallen) ou dans leur environnement, il existe des zones présentant des niveaux radiamétriques et/ou des activités massiques en radionucléides dans les sols significativement supérieurs au bruit de fond pour lesquelles une estimation plus précise des temps de présence éventuelle de personnes sur ces zones permettrait d'affiner l'évaluation du risque d'exposition prolongée. En outre, s'agissant de l'environnement éloigné du site de Keryacunff, l'IRSN considère que la compatibilité entre les activités de loisir et les niveaux radiologiques mesurés dans les étangs devrait être évaluée.

Par ailleurs, il conviendrait de s'assurer que les changements d'usage qui pourraient intervenir à l'avenir, notamment en cas de construction, resteront compatibles avec la situation radiamétrique et radiologique de certains sites (sites de Poulprio, Moulin de Brodimon, Kerler, Bonote, Rosglas, Salle Ponto, Mane Mabo et Ty Gallen) et n'induiront pas de risque significatif d'exposition prolongée de personnes. A cet égard, l'IRSN suggère d'engager des actions d'information auprès des propriétaires et des maires des communes concernées en vue de la conservation de la mémoire (inscription à l'urbanisme) pour prévenir tout usage futur inapproprié.

Toutefois, Areva Mines mentionne des actions d'assainissement de certains sites ou de terrains au niveau d'anciens circuits des eaux d'exhaure (Poulprio, Kerler, Bonote, Rosglas, Ty Gallen, Moulin de Brodimon et Mane Mabo). Bien que l'examen de ces actions sorte du cadre défini par les contrôles de second niveau MIMAUSA, l'IRSN considère que, sur le principe, ces actions pourraient contribuer à prévenir les expositions actuelles et futures des personnes en cas de changement d'usage des terrains. Un état des lieux relatif à la situation radiologique après travaux permettrait d'évaluer si l'inscription à l'urbanisme évoquée ci-avant reste nécessaire. Dans le cas du site de Salle Ponto, compte tenu des niveaux radiamétriques mesurés à l'entrée du travers-banc et de son accessibilité, l'IRSN

considère que la condamnation de l'entrée du travers-banc telle que proposée par Areva Mines dans son BE contribuerait à réduire les risques d'exposition des personnes sur cette zone. De plus, ces travaux d'obturation constituent une opportunité pour améliorer la situation radiologique de la zone, en particulier au niveau de l'entrée immédiate du travers-banc.

Pour ce qui concerne le risque d'exposition au radon, l'IRSN considère qu'un dépistage du radon devrait être réalisé dans les bâtiments à usage d'habitation sur ou à proximité d'un certain nombre de sites (Moulin de Brodimon, Kerler et Mane Mabo), afin de juger de la nécessité de mettre en œuvre des actions de remédiation visant à réduire l'exposition des usagers le cas échéant.

Par ailleurs, l'IRSN considère que la présence de tas de stériles dans l'environnement de certains sites accessibles au public induit un risque de réutilisation de ces matériaux. C'est le cas en particulier pour les sites de Mane Mabo et de Prat Mérien, où des tas de stériles ont été identifiés, respectivement, sur une parcelle privée et dans un talus en bord de route. De manière générale, l'IRSN considère que le retrait de ces matériaux est à encourager dès lors que ce retrait est aisé. A cet égard l'IRSN suggère d'informer la mairie et les propriétaires de la présence de ces stériles afin de prévenir leur réutilisation et d'engager une réflexion sur la faisabilité de leur retrait à l'occasion des travaux d'assainissement envisagés par Areva Mines sur ces sites. L'IRSN suggère également d'informer les mairies de Meslan et de Guilligomarc'h de la présence d'une verse de stériles sur le site de Rosglas afin de prévenir la réutilisation de ces stériles.

En complément, l'IRSN appelle l'attention sur la présence possible de rejets diffus au niveau du site de Prat Mérien. Aussi, il serait opportun de mettre en place une surveillance adaptée des eaux de surface en aval du site minier afin de suivre l'évolution de la qualité des eaux. A cet égard, une connaissance de l'hydrologie du site apparaît nécessaire afin de disposer de points de caractérisation des eaux de surface adaptés à l'objectif de surveillance.

Enfin, l'IRSN considère que les risques pour l'environnement associés aux teneurs en uranium de l'eau des cours d'eau drainant des terrains concernés par le circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (Poulprio, Ty Gallen) mériteraient d'être évalués. A cet égard, l'IRSN rappelle qu'un projet de guide technique pour la gestion des anciennes mines d'uranium, mis en consultation en 2015 par la DGPR auprès de l'ensemble des acteurs concernés, proposera une approche d'évaluation des risques pour l'environnement.

7 BIBLIOGRAPHIE

1. Circulaire DGPR/SRT/MSNR/SN/2009.132 ; 22 Juillet 2009.
2. AREVA Mines (2014). BILAN ENVIRONNEMENTAL. Sites miniers de la Bretagne, départements des Côtes d'Armor, du Finistère et du Morbihan.
3. IRSN (2013). Base MIMAUSA, mise à jour août 2013, <http://mimausabdd.irsn.fr/>
4. Site du Géoportail : www.geoportail.gouv.fr
5. CRIIRAD, Contamination d'une parcelle ayant reçu les eaux d'exhaure de l'ancienne mine d'uranium de Ty Gallen, Note CRIIRAD n 10-113, 13 juillet 2010.
6. CRIIRAD, Analyses radiologiques de solides dans le secteur de l'ancienne mine d'uranium de Rosglas (Morbihan), Note CRIIRAD n 08-119, 20 juillet 2008.
7. IRSN (2010), Anciens sites miniers d'uranium de Bretagne, Résultats de la campagne de contrôles radiologiques d'Août 2009. Rapport DEI/SARG/2010-027.
8. BRGM, Site Infoterre : <http://infoterre.brgm.fr/>
9. BRGM, Banque du Sou-Sol : <http://infoterre.brgm.fr/dossiers-sur-le-sous-sol-bss>
10. IRSN (2017). Base MIMAUSA, mise à jour 2017, <http://mimausabdd.irsn.fr/>
11. Site d'OpenStreetMap : <http://openstreetmap.fr/>
12. Areva Mines (2013), Bilan du programme de surveillance des anciens sites miniers uranifères rattachés à la concession de Lignol, septembre 2012-Juin 2013.
13. GEODERIS (2015), Étude et cartographie des aléas miniers sur 6 sites miniers orphelins bretons uranium. Rapport W2015/011DE - 15BRE22020 (diffusion restreinte).
14. IRSN (2016), Diagnostic radiologique des anciennes mines d'uranium orphelines de Bretagne. Rapport RT PRP-DGE 2016-00016 (diffusion restreinte).
15. IRSN (2007). Expertise globale du bilan décennal environnemental d'AREVA NC. 2ème partie : impact environnemental à l'échelle des bassins versants et évaluation de la surveillance. Rapport DEI/SARG/2007-042.
16. IRSN (2009). Programme MIMAUSA volet 2 « études complémentaires » Rapport de la mission pilote de novembre 2008 sur les anciens sites de Lozère. Rapport DEI/SARG/2009-004.
17. IRSN (2011). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers de Creuse. Rapport DEI/SARG/2011-007.
18. IRSN (2011). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers de Corrèze. Rapport IRSN/DEI/SARG/2011-018.
19. IRSN (2012). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers du Nord de la Haute-Vienne. Rapport PRP-DGE/2012-00010.
20. IRSN (2012). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers de la Nièvre. Rapport PRP-DGE/2012-0008.
21. IRSN (2012). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers de la Saône-et-Loire. Rapport PRP-DGE/2012-00016.
22. IRSN (2014). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers de l'Allier, du Puy de Dôme et de la Haute Loire en région Auvergne. Rapport PRP-DGE/2013-00022.

23. IRSN(2014). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers d'uranium de l'Aveyron. Rapport PRP-DGE/2013-00032.
24. IRSN (2014). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers d'uranium du Maine et Loire. Rapport PRP-DGE/2014-00024.
25. IRSN (2015). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers des Deux Sèvres. Rapport PRP-DGE/2015-00001.
26. IRSN (2015). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers de Vendée. Rapport PRP-DGE/2015-00017.
27. IRSN (2016). Contrôles de second niveau effectués sur les anciens sites miniers d'uranium de Côtes d'Armor. Rapport PRP-DGE/2016-00023.
28. DGPR (2013). Circulaire DGPR/SRT/MSNR/2013-052 du 08 août 2013. Actions Nationales - Gestion des stériles miniers des anciennes mines d'uranium.
29. Areva Mines (2013). Recensement des stériles miniers uranifères. Bretagne : Morbihan (56). Commune de Persquen.
30. Areva Mines (2013). Recensement des stériles miniers uranifères. Bretagne : Morbihan (56). Commune de Lignol. Fiche n 56A-208/n° 1238.
31. SMART/Subatech (2013), Etude radiologique des anciens sites miniers uranifères du Morbihan. Ref : RC-2012-022.
32. Géoarmor Environnement (2013), Ancien sites miniers uranifères du Morbihan - Etudes complémentaires. Ref : FD-MTR6092a.
33. ASN (20/12/2010), Inspection de l'ancien site minier de Kerlec'h du 24 novembre 2010. Ref : CODEP-NAN-2010-067219.
34. Areva Mines (2014). Recensement des stériles miniers uranifères. Hors survol : Morbihan (56). Commune de Quistinic - Site de Mane Mabo. Fiche n 56.2.
35. Areva Mines (2015) Recensement des verses à stériles. Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs 2013-2015
36. Salminen R. et al. (2006). Geochemical Atlas of Europe. Part 1 - Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland.

8 ANNEXE

**Annexe 1: Synthèse des résultats de mesures *in situ* et en laboratoire
réalisées par l'IRSN au niveau des points de prélèvement sous
influence potentielle des sites miniers**

Les eaux de surface

				Mesures de terrain							Mesures en laboratoire (sur la fraction totale)		
Commentaires		Nom de l'échantillon	Date	X [Lambert 93]	Y [Lambert 93]	pH	T [°C]	C [µS.cm ⁻¹]	Turbidité [ppm]	Alcalinité [mg.L ⁻¹]	U [µg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra [mBq.L ⁻¹]	
Aval Ty Gallen	Ruisseau à la sortie de la zone humide du Hameau de Guern en Tal (ruisseau n°2)	56E_TYG_ZMB	28/09/2015	238845	6784758	5,3	13,4	100	/	/	74,10 ± 4,40	1 070 ± 250	
Aval Ty Gallen	Ruisseau du Brulé, aval proche	56E_BRU_B1	28/09/2015	239051	6784069	5,8	13,3	148	7,6	20	1,33 ± 0,08	45 ± 13	
Aval Ty Gallen	Ruisseau du Brulé, aval éloigné	56E_BRU_B2	28/09/2015	239130	6781604	6,2	13,8	149	0,0	50	< 1	9 ± 6	
Salle Ponto	Source localisée au nord du site de Salle Ponto	56E_SPO_SCE	16/11/2015	244013	6781387	7,5	12,5	156	0,5	25	< 1	19 ± 15	
Aval Salle Ponto	Ruisseau à l'est du site de Salle Ponto	56S_SPO_RUB1	17/11/2015	244088	6781288	7,3	13,0	201	0,0	20	< 1	< 7	
Aval Salle Ponto	Ruisseau au sud de Salle Ponto	56S_SPO_RUB2	18/11/2015	244098	6781263	7,3	13,0	201	0,0	20	< 1	14 ± 8	
Aval total sites du bassin versant de la Sarre	La Sarre aval total sites	56E_SAR_B	16/11/2015	245159	6780450	7,0	12,7	179	2,0	25	< 1	9 ± 6	
Aval Sulliado, amont Prat Mérien	Ruisseau du Chapelain, aval Sulliado, amont Prat Mérien	56E_CHA_B1	17/11/2015	238036	6788921	6,2	13,6	174	12,5	20	< 1	9 ± 8	
Aval Sulliado et Prat Mérien	Ruisseau du Chapelain, aval Prat Mérien	56E_CHA_B2	17/11/2015	237912	6788344	6,3	13,6	180	20,8	25	1,21 ± 0,12	10 ± 10	
Aval total sites du bassin versant du Chapelain	Ruisseau du Chapelain, aval total sites	56E_CHA_B3	17/11/2015	236372	6788185	6,3	13,6	174	1,4	25	1,17 ± 0,12	13 ± 8	
Aval total sites du bassin versant du Goah Mout	Ruisseau du Goah Mout	56E_GOA_B	17/11/2015	237422	6787492	6,2	13,4	162	9,0	20	< 1	13 ± 9	
Aval Keryacunff	Etang n 1 en aval du site de Keryacunff	56E_KYU_ETGB1	17/11/2015	239645	6785079	7,3	13,8	166	130,0	35	1,14 ± 0,10	56 ± 32	
Aval Prat Mérien	Ru au sud du site de Prat Mérien	56E_PRT_RUB	17/11/2015	238081	6788571	6,0	13,9	227	2,7	/	95,00 ± 10,00	177 ± 42	
Aval Sulliado	Ruisseau aval Sulliado	56E_SUL_RUB2	17/11/2015	238502	6789196	6,4	13,5	193	6,5	20	3,77 ± 0,38	42 ± 22	
Aval total sites du bassin versant de l'Ellé	Rivière l'Ellé	29E_ELLE_B	18/11/2015	217774	6779765	6,3	12,8	193	0,0	15	< 1	28 ± 12	

			Mesures de terrain								Mesures en laboratoire (sur la fraction totale)	
Commentaires		Nom de l'échantillon	Date	X [Lambert 93]	Y [Lambert 93]	pH	T [°C]	C [µS.cm ⁻¹]	Turbidité [ppm]	Alcalinité [mg.L ⁻¹]	U [µg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra [mBq.L ⁻¹]
Aval Poulbet et Kerjean	Ruisseau de Kernlevez	29E_POU_RUB	18/11/2015	220664	6780763	6,0	13,0	150	1,7	20	1,26 ± 0,13	71 ± 20
Aval Prat Meno, Vouedec et Kervrec'h	Ruisseau de la Gare	56E_GARE_B	18/11/2015	219169	6787084	6,0	12,8	160	10,6	20	< 1	14 ± 13
Aval Keryacunff	Etang n°3 en aval du site de Keryacunff-Etang Fleuri	56E_KYU_ETGB3	18/11/2015	240776	6784463	6,6	14,8	174	16,4	30	< 1	40 ± 12
Aval Rosglas	Etang n°1 en aval du site de Rosglas	56E_ROS_ETG1	18/11/2015	221515	6782835	5,4	11,1	143	0,0	15	1,40 ± 0,14	146 ± 34
Aval Rosglas	Ruisseau en aval du site de Rosglas	56E_ROS_RUB	18/11/2015	221546	6782875	6,2	12,1	125	7,9	15	< 1	139 ± 32
Aval Rosglas	Ruisseau en aval éloigné du site de Rosglas	56E_ROS_RUB1	18/11/2015	221856	6783293	6,1	12,8	155	3,0	20	< 1	41 ± 21
Aval total sites du bassin versant du Scorff	Rivière le Scorff	56E_SCO_B	18/11/2015	220922	6775597	6,5	13,1	168	11,5	15	< 1	9 ± 9
Aval total sites du bassin versant du Blavet	Rivière le Blavet	56E_BLA_B	19/11/2015	237032	6769905	5,8	13,2	216	5,3	20	< 1	18 ± 7
Aval Kerler	Ruisseau de Kerustang	56E_KER_RUB	19/11/2015	232326	67888029	6,3	13,2	169	1,3	20	< 1	< 5
Aval Moulin de Brodimon	Rivière le Scorff	56E_MDB_B	19/11/2015	232912	6785131	6,5	13,1	168	5,3	20	< 1	11 ± 5
Aval Mane Mabo	Ruisseau au droit du site	56E_MMA_RUB1	19/11/2015	240620	6774314	5,5	12,5	155	0,0	15	< 1	223 ± 50
Aval Mane Mabo	Ruisseau en aval du site	56E_MMA_RUB2	19/11/2015	240605	6773969	6,1	13,5	153	1,9	15	< 1	133 ± 33
Aval total sites des bassins versants du Kerustang et du Landordu	Etang de Pont Callec	56E_PC_B	19/11/2015	227780	6784685	6,6	13,3	173	13,5	15	< 1	< 5
Aval Poulprio	Ruisseau en aval du bassin de décantation du site de Poulprio	56E_POP_RUB1	17/11/2015	238933	6785835	/	/	/	/	/	2 025,00 ± 205	50 900 ± 14 000
Aval Poulprio	Prélèvement d'un écoulement dans la zone marécageuse rejoignant le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site de Poulprio	56E_POP_RUB2	19/11/2015	237962	6786034	6,1	12,3	126	0	15	1,25 ± 0,12	25 ± 9
Aval Bonote	Ruisseau au sud et en aval du site de Bonote	56E_BON_RUB	20/11/2015	226505	6783228	/	/	/	/	/	3,16 ± 0,32	252 ± 60

			Mesures de terrain								Mesures en laboratoire (sur la fraction totale)	
Commentaires		Nom de l'échantillon	Date	X [Lambert 93]	Y [Lambert 93]	pH	T [°C]	C [µS.cm ⁻¹]	Turbidité [ppm]	Alcalinité [mg.L ⁻¹]	U [µg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra [mBq.L ⁻¹]
Aval Bonote	Etang au sud et en aval du site de Bonote	56E_BON_ETGB	20/11/2015	226588	6782201	6,2	13,2	135	16,8	15	11,10 ± 1,10	128 ± 37
Aval Bonote	Ruisseau au nord du site de Bonote	56E_BON_RUNB	20/11/2015	226884	6784345	6,3	13,2	131	10,1	15	< 1	66 ± 23

Avec T : Température, C : Conductivité, / : non mesuré

Les sols : Mesures de terrain

				Mesures de terrain		
Commentaires		Nom de l'échantillon	Date	X [Lambert 93]	Y [Lambert 93]	Débit de dose au contact de l'échantillon [nSv/h]
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM1_A	28/09/2015	238822	6784814	700
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM1_B	28/09/2015	238822	6784814	3 200
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM2_A	28/09/2015	238825	6784814	700
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM2_B	28/09/2015	238825	6784814	700
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM3	28/09/2015	238841	6784782	1 365
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T1A	17/11/2015	238958	6785725	600
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T1B	17/11/2015	238958	6785725	600
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T2A	17/11/2015	238944	6785793	1 300
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T2B	17/11/2015	238944	6785793	1 300
Aval Rosglas	Chemin de randonnée en aval du site de Rosglas	56S_ROS_T1	18/11/2015	221346	6782599	2 700
Aval Rosglas	Chemin de randonnée en aval du site de Rosglas	56S_ROS_T2	18/11/2015	221520	6782791	1 500
Aval Rosglas	Fossé en aval du site de Rosglas	56S_ROS_RUB	18/11/2015	221488	6782772	730
Aval Kerler	Champs en aval du site de Kerler	56S_KER_T1	19/11/2015	232358	6788010	2 700
Aval Kerler	Champs en aval du site de Kerler	56S_KER_T2	19/11/2015	232438	6787942	2 300
Aval Bonote	Zone humide en aval du site de Bonote	56S_BON_T1	20/11/2015	226511	6783227	1 070

Les sols : Mesures radiologiques

			Activité en [Bq.kg ⁻¹]*						
Commentaires		Nom de l'échantillon	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²¹⁰ Pb	²³⁵ U	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM1_A	56 000 ± 6 000	24 700 ± 2 400	24 400 ± 2 300	13 900 ± 1 400	2 180 ± 320	270 ± 90	138,0 ± 30
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM1_B	34 100 ± 3 400	28 300 ± 2 700	27 800 ± 2 600	24 700 ± 2 500	1 200 ± 170	1 050 ± 130	7,3 ± 2,6
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM2_A	17 700 ± 2 000	12 600 ± 1 200	12 100 ± 1 100	9 000 ± 1 000	690 ± 100	310 ± 70	9,5 ± 2,0
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM2_B	31 900 ± 3 200	29 700 ± 2 800	29 000 ± 2 700	2 3100 ± 2 400	1 230 ± 150	1 140 ± 150	12,1 ± 2,7
Aval Ty Gallen	Zone humide du Hameau de Guern en Tal	56S_TYG_ZM3	17 100 ± 1 800	15 100 ± 1 600	14 900 ± 1 400	7 300 ± 800	770 ± 100	310 ± 70	8,9 ± 1,9
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T1A	3 100 ± 600	2 630 ± 400	2 650 ± 380	1 910 ± 290	132 ± 19	1160 ± 170	2,9 ± 0,9
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T1B	3 300 ± 700	3 110 ± 470	3 130 ± 450	2 280 ± 340	137 ± 24	1 350 ± 200	2,4 ± 0,8
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T2A	34 100 ± 4 900	24 300 ± 3 700	24 500 ± 3 500	11 300 ± 1 700	1 400 ± 190	640 ± 130	11,1 ± 3,0
Aval Poulprio	Zone humide en aval du site de Poulprio	56S_POP_T2B	11 200 ± 1 700	9 000 ± 1 400	9 000 ± 1 300	10 200 ± 1 500	480 ± 80	1 190 ± 180	< 3,2
Aval Rosglas	Chemin de randonnée en aval du site de Rosglas	56S_ROS_T1	114 000 ± 16 000	51 000 ± 8 000	50 000 ± 8 000	37 000 ± 6 000	5 000 ± 700	1 270 ± 210	20,1 ± 4,2
Aval Rosglas	Chemin de randonnée en aval du site de Rosglas	56S_ROS_T2	146 000 ± 21 000	64 000 ± 10 000	63 000 ± 9 000	40 000 ± 6 000	6 500 ± 800	1 200 ± 210	26,0 ± 6,0
Aval Rosglas	Fossé en aval du site de Rosglas	56S_ROS_RUB	12 700 ± 1 900	7 300 ± 1 100	7 200 ± 1 100	4 500 ± 700	550 ± 80	850 ± 130	6,4 ± 1,6
Aval Kerler	Champs en aval du site de Kerler	56S_KER_T1	41 000 ± 6 000	24 700 ± 3 600	24 700 ± 3 500	20 500 ± 3 000	1 980 ± 260	560 ± 90	11,8 ± 3,0
Aval Kerler	Champs en aval du site de Kerler	56S_KER_T2	43 000 ± 6 000	31 200 ± 4 500	30 700 ± 4 300	22 400 ± 3 400	2 100 ± 280	720 ± 130	23,1 ± 4
Aval Bonote	Zone humide en aval du site de Bonote	56S_BON_T1	32 300 ± 4 500	13 800 ± 2 000	13 500 ± 1 900	11 000 ± 1 700	1 500 ± 190	740 ± 120	25,6 ± 4,3

*exprimée en masse sèche

Les sédiments : Mesures de terrain

				Mesures de terrain							
Commentaires		Nom de l'échantillon	Date	X [Lambert 93]	Y [Lambert 93]	pH	T [°C]	C [μS.cm ⁻¹]	Turbidité [ppm]	Alcalinité [mg.L ⁻¹]	Débit de dose au contact de l'échantillon [nSvh]
Aval Ty Gallen	Aval zone humide (ruisseau n°2)	56S_TYG_RUB1	28/09/2015	238863	6784729	/	/	/	/	/	/
Aval Ty Gallen	Ruisseau du Brulé	56S_BRU_B1	28/09/2015	239051	6784069	5,8	13,3	148	7,6	20	/
Aval Ty Gallen	Ruisseau du Brulé	56S_BRU_B2	28/09/2015	239130	6781604	6,2	13,8	149	0,0	50	/
Aval total sites du bassin versant de la Sarre	La Sarre	56S_SAR_B	16/11/2015	245159	6780450	7,0	12,7	179	2,0	25	/
Aval Sulliado, amont Prat Mérien	Ruisseau du Chapelain	56S_CHA_B1	17/11/2015	238036	6788921	6,2	13,6	174	12,5	20	/
Aval Keryacunff	Etang n°1 en aval du site de Keryacunff	56S_KYU_ETGB1	17/11/2015	239645	6785079	7,3	13,8	166	130,0	35	/
Aval Keryacunff	Etang n°2 en aval du site de Keryacunff	56S_KYU_ETGB2	17/11/2015	239820	6784919	6,8	12,0	168	9,4	35	/
Aval Prat Meno, Vouedec et Kervrec'h	Ruisseau de la Gare	56S_GARE_B	18/11/2015	219169	6787084	6,0	12,8	160	10,6	20	/
Aval Keryacunff	Etang n°3 en aval du site de Keryacunff-Etang Fleuri	56S_KYU_ETGB3	18/11/2015	240776	6784463	6,6	14,8	174	16,4	30	/
Aval Kerler et Le Hinger	Ruisseau de Kerustang	56S_KER_RUB	19/11/2015	232326	67888029	6,2	13,2	168	5,9	20	/
Aval Moulin de Brodimon	Le Scorff	56S_MDB_B	19/11/2015	232912	6785131	6,5	13,1	168	5,3	20	/
Aval Mane Mabo	Ruisseau au droit du site	56S_MMA_RUB1	19/11/2015	240620	6774314	5,5	12,5	155	0,0	15	/
Aval Poulprio	Ruisseau en aval du site de Poulprio	56S_POP_RUB2	19/11/2015	237962	6786034	6,1	12,3	126	0,0	15	/
Aval Bonote	Etang au sud et en aval de Bonote	56S_BON_ETGB	20/11/2015	226588	6782201	6,2	13,2	135	16,8	15	/

Avec T : Température, C : Conductivité, / : non mesuré

Les sédiments: Mesures radiologiques

			Activité en [Bq.kg ⁻¹]*						
Commentaires		Nom de l'échantillon	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²¹⁰ Pb	²³⁵ U	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
Aval Ty Gallen	Aval zone humide (ruisseau n°2)	56S_TYG_RUB1	35 300 ± 3 500	29 200 ± 2 800	28 100 ± 2 600	26 100 ± 2 700	1 280 ± 170	1 200 ± 160	11,3 ± 2,5
Aval Ty Gallen	Ruisseau du Brulé	56S_BRU_B1	1 620 ± 420	1 770 ± 170	1 650 ± 160	940 ± 100	61,0 ± 34,0	850 ± 90	6,9 ± 1,3
Aval Ty Gallen	Ruisseau du Brulé	56S_BRU_B2	320 ± 150	620 ± 60	610 ± 60	354 ± 41	9,5 ± 2,6	640 ± 70	8,5 ± 1,1
Aval total sites du bassin versant de la Sarre	La Sarre	56S_SAR_B	< 600	206 ± 21	196 ± 32	< 330	< 39,0	1 100 ± 130	< 3,8
Aval Sulliado, amont Prat Mérien	Ruisseau du Chapelain	56S_CHA_B1	< 120	67 ± 10	63 ± 15	60 ± 10	< 1,0	950 ± 140	1,9 ± 0,4
Aval Keryacunff	Etang n°1 en aval du site de Keryacunff	56S_KYU_ETGB1	350 ± 140	410 ± 70	410 ± 70	420 ± 70	5,2 ± 1,3	650 ± 100	2,7 ± 0,9
Aval Keryacunff	Etang n°2 en aval du site de Keryacunff	56S_KYU_ETGB2	660 ± 150	1510 ± 230	1470 ± 210	1230 ± 190	27,0 ± 7,0	430 ± 90	3,6 ± 1,0
Aval Prat Meno, Vouedec et Kervrec'h	Ruisseau de la Gare	56S_GARE_B	< 130	171 ± 26	159 ± 25	131 ± 24	2,6 ± 1,1	840 ± 120	4,5 ± 0,8
Aval Keryacunff	Etang n°3 en aval du site de Keryacunff-Etang Fleuri	56S_KYU_ETGB3	< 230 (²³⁴ Th = 92 ± 20)	400 ± 60	380 ± 60	350 ± 60	< 3,4	344 ± 30	15,8 ± 3,4
Aval Kerler et Le Hinger	Ruisseau de Kerustang	56S_KER_RUB	< 100	104 ± 16	97 ± 16	85 ± 14	< 1,3	770 ± 110	3,3 ± 0,6
Aval Moulin de Brodimon	Le Scorff	56S_MDB_B	< 310 (²³⁴ Th = 130 ± 70)	204 ± 19	190 ± 24	150 ± 100	< 25,0	660 ± 80	3,9 ± 1,4
Aval Mane Mabo	Ruisseau au droit du site	56S_MMA_RUB1	270 ± 120	1 480 ± 220	1 320 ± 190	1 540 ± 230	< 6,0	247 ± 46	< 2,8
Aval Poulprio	Ruisseau en aval du site de Poulprio	56S_POP_RUB2	< 120	400 ± 60	400 ± 60	360 ± 60	9,4 ± 3,8	343 ± 50	12,0 ± 2,6
Aval Bonote	Etang au sud et en aval de Bonote	56S_BON_ETGB	1 160 ± 250	1 430 ± 210	1 360 ± 200	810 ± 120	46,0 ± 13,0	420 ± 70	8,2 ± 1,4

*exprimée en masse sèche

**Annexe 2: Résultats des mesures physico-chimiques et des analyses
radiologiques effectuées sur des échantillons hors influence minière -
Caractérisation du bruit de fond local**

Au cours des contrôles de second niveau réalisés dans le Morbihan et le Finistère, cinq échantillons d'eau et deux échantillons de sédiments ont été prélevés hors influence de sites miniers et dans un contexte géologique similaire aux sites étudiés. Ils permettent de caractériser le bruit de fond local et ainsi d'évaluer les valeurs obtenues pour des échantillons prélevés sur site ou en aval des sites étudiés. La localisation des points de prélèvement de ces échantillons est présentée aux Figure 19 et Figure 20.

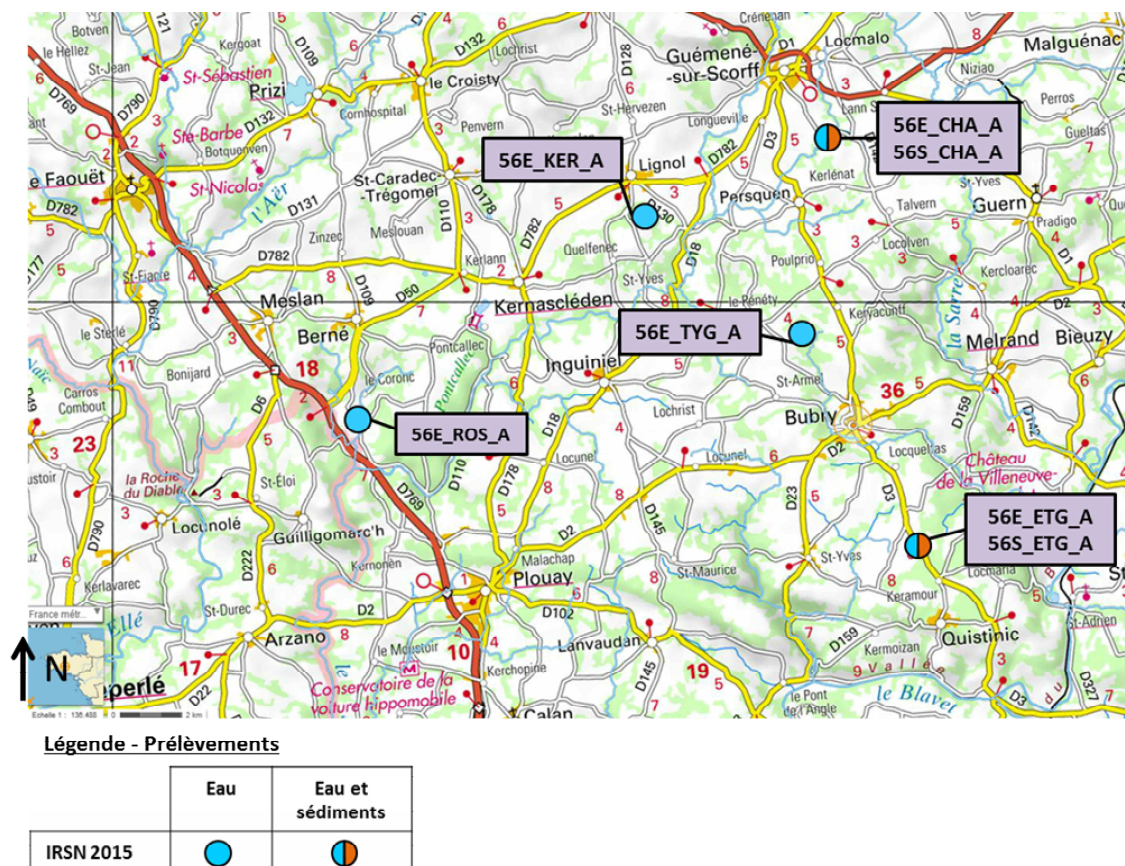


Figure 19 : Localisation de l'ensemble des points de prélèvement hors influence minière (sur fond Géoportail ©IGN [4])

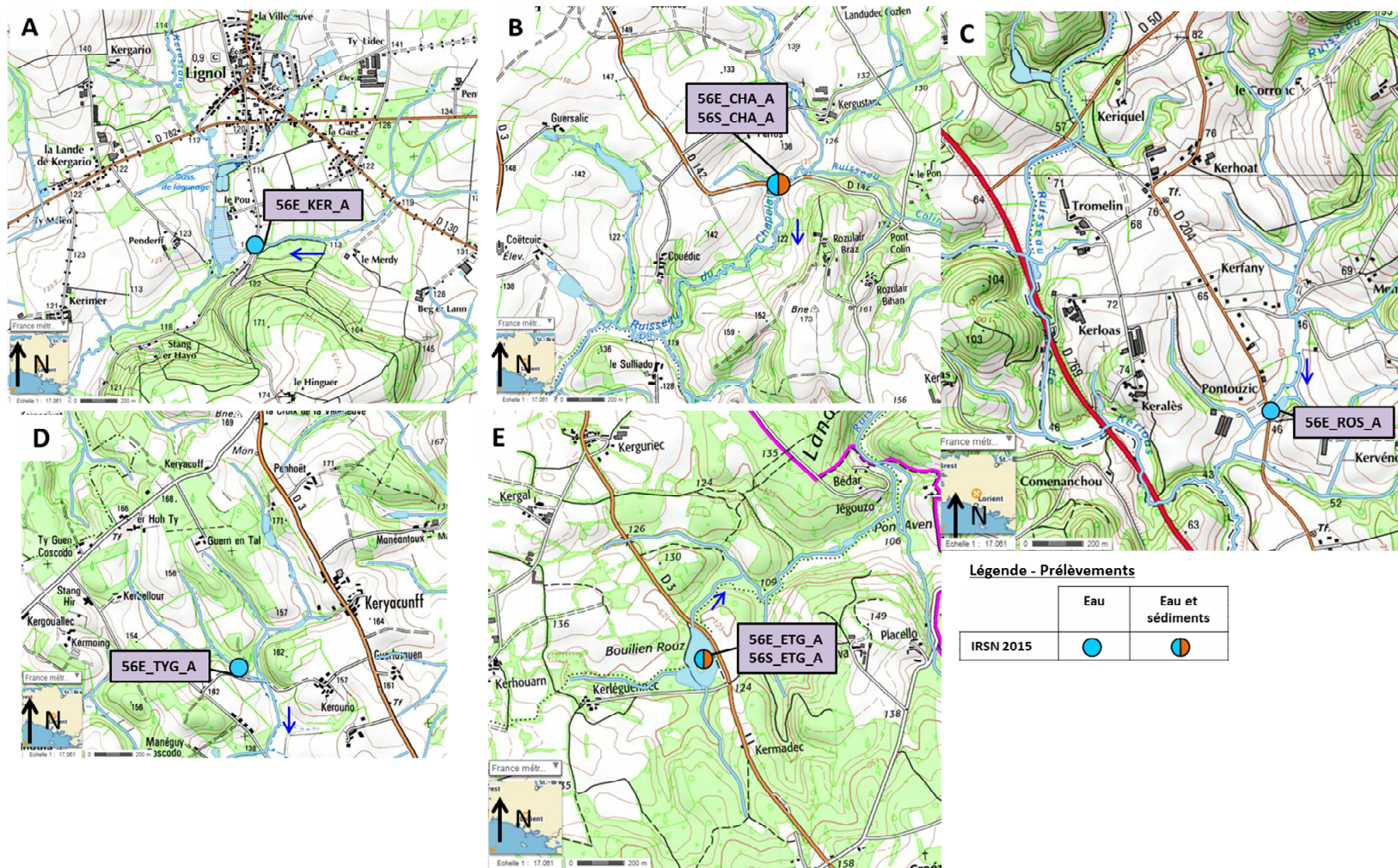


Figure 20 : Localisation des points de prélèvement hors influence minière - A à E - détails sur la localisation des points (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1 Mesures physico-chimiques *in situ*

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux, mesurées *in situ* aux points de prélèvement d'eau et de sédiment, sont présentées dans le Tableau 3. Les valeurs locales qui en sont déduites sont un pH légèrement acide (6,2 en moyenne) et des valeurs de conductivité généralement comprises entre 100 et 200 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

Tableau 3 : Résultats des mesures physico-chimiques *in situ* réalisées au niveau des points de prélèvement d'eau et de sédiments hors influence des sites miniers du Morbihan et du Finistère

Nom de l'échantillon	Commentaires	Date de prélèvement	X [Lambert 93]	Y [Lambert 93]	pH	T [°C]	C [$\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$]	Turbidité [ppm]	Alcalinité [$\text{mg}.\text{L}^{-1}$]
Eaux									
56E_TYG_A	Ru affluent du ruisseau du Brulé	28/09/2015	239006	6784108	6,2	14,1	121	238,0	20
56E_ROS_A	Ruisseau du Corronc	18/11/2015	223589	6781596	5,9	12,8	147	1,1	25
56E_CHA_A	Ruisseau du Chapelain, amont Sulliado	19/11/2015	239804	6790238	6,3	12,5	208	9,5	25
56E_ETG_A	Etang Bouillien Rouz	19/11/2015	241760	6776235	6,3	13,4	78	25,5	15
56E_KER_A	Ruisseau de Kerustang, amont Kerler	19/11/2015	233076	6788400	6,5	13,3	193	14,8	20
Sédiments									
56S_CHA_A	Ruisseau du Chapelain, amont Sulliado	19/11/2015	239804	6790238	6,3	12,5	208	9,5	25
56S_ETG_A	Etang Bouillien Rouz	19/11/2015	241760	6776235	6,3	13,4	78	25,5	15

Avec : T = température, C = conductivité

Pour les échantillons de sédiments, les paramètres physico-chimiques ont été mesurés dans les eaux au point de prélèvement

2 Analyses radiologiques

2.1 ANALYSES RADIOLOGIQUES DES EAUX

Les résultats des analyses radiologiques (uranium et radium 226) sur la fraction totale des cinq échantillons d'eau sont présentés dans le Tableau 4. Le bruit de fond qui en est déduit pour les eaux de surface hors influence de sites miniers est une concentration en uranium inférieure à $1 \mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ et une activité en radium 226 de quelques $\text{mBq}.\text{L}^{-1}$ à quelques dizaines de $\text{mBq}.\text{L}^{-1}$, en cohérence avec les valeurs de référence mentionnées au chapitre 5 du présent rapport.

Tableau 4 : Résultats des analyses radiologiques (uranium et radium 226) effectuées par l'IRSN sur la fraction totale des eaux prélevées hors influence des sites miniers du Morbihan et du Finistère

Nom de l'échantillon	U_{total} [$\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq}.\text{L}^{-1}$]
56E_ROS_A	< 1	17 ± 15
56E_CHA_A	< 1	< 5
56E_ETG_A	< 1	17 ± 11
56E_KER_A	< 1	12 ± 7
56E_TYG_A	< 1	9 ± 8

2.2 ANALYSES RADIOLOGIQUES DES SÉDIMENTS

Les résultats des analyses radiologiques (spectrométrie gamma) des deux échantillons de sédiment sont présentés dans le Tableau 5. L'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (ou du ^{234}Th). Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi). Les activités massiques de l' ^{238}U et du ^{226}Ra dans les échantillons de sédiment sont inférieure à 130 Bq.kg^{-1} et égale à $200 \pm 110 \text{ Bq.kg}^{-1}$ pour l' ^{238}U et égales à $140 \pm 22 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $171 \pm 26 \text{ Bq.kg}^{-1}$ pour le ^{226}Ra . Le bruit de fond qui en est déduit pour les sédiments hors influence de sites miniers est une activité massique d'une centaine à 200 Bq.kg^{-1} pour chacun des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238.

Tableau 5 : Résultats des analyses réalisées par l'IRSN sur les sédiments prélevés hors influence des sites miniers du Morbihan et Finistère

Nom de l'échantillon	Activité en $[\text{Bq.kg}^{-1}]^*$						
	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{214}Pb	^{214}Bi	^{210}Pb	^{235}U	^{40}K	^{137}Cs
56S_CHA_A	<130	140 ± 22	137 ± 22	126 ± 20	$3,8 \pm 0,8$	620 ± 90	$5,4 \pm 1,9$
56S_ETG_A	200 ± 110	171 ± 26	175 ± 27	266 ± 40	$9,4 \pm 1,4$	840 ± 120	$1,5 \pm 0,4$

*exprimée en masse sèche

3 Bruit de fond retenu pour les sols

Dans le cadre des contrôles de second niveau réalisés par l'IRSN dans les départements du Morbihan et du Finistère en 2015, des échantillons de sols ont également été prélevés en aval d'anciens sites miniers d'uranium. Cependant aucun prélèvement de sols n'a été réalisé hors influence de sites miniers dans le cadre de ce contrôle de second niveau. Afin d'évaluer les valeurs obtenues pour ces échantillons de sols, l'IRSN s'est appuyé sur des valeurs issues de la bibliographie, notamment celles proposées dans la tierce expertise IRSN du bilan décennal environnemental d'Areva Mines pour ses sites de la Division Minière de la Crouzille en Haute-Vienne et dans le programme FOREGS (cf. Tableau 6).

Tableau 6 : Gamme de valeurs ou valeur pour l'uranium, l'uranium 238 et le radium 226 dans les sols issue de quelques sources bibliographiques

Source		Gamme de valeurs ou valeurs pour l'uranium, l' ^{238}U et le ^{226}Ra
FOREGS - FORum of European Geological Surveys	[36]	Echantillons prélevés dans les zones de socles : Sols de surface: $\text{U} = 3 \text{ à } 22 \text{ ppm}$ (soit $^{238}\text{U} = 37 \text{ à } 270 \text{ Bq.kg}^{-1}$) Sols de profondeur: $\text{U} = 3 \text{ à } 30 \text{ ppm}$ (soit $^{238}\text{U} = 37 \text{ à } 370 \text{ Bq.kg}^{-1}$)
Tierce expertise du bilan décennal environnemental d'Areva Mines	[15]	$^{238}\text{U} = 120 \text{ à } 220 \text{ Bq.kg}^{-1}$
Contrôles de second niveau Mimausa (Vendée)	[26]	$^{238}\text{U} = 120 \pm 60 \text{ Bq.kg}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 141 \pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1}$

Le bruit de fond qui en est déduit pour les sols hors influence de sites miniers est une activité massique d'une centaine à 200 Bq.kg^{-1} pour chacun des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238, soit du même niveau que pour les sédiments.

Annexe 3: Points de prélèvements réalisés en aval éloigné des anciens sites miniers du Morbihan et du Finistère

Dans le cadre des contrôles de second niveau MIMAUSA, l'IRSN s'est intéressé aux bassins versants renfermant les anciens sites miniers du Morbihan et du Finistère. Ainsi, trois principaux bassins versants ont été identifiés : le Scorff, le Blavet et l'Ellé (cf. Figure 21). Certains de ces bassins versants ont été examinés à l'échelle du sous bassin versant à savoir :

- pour le bassin versant du Scorff, les sous bassins versants du Chapelain (qui inclut le bassin versant du Goah Mout), du Kerustang, de Kerloas et de Kerlnevez ;
- pour le bassin versant du Blavet, le sous bassin versant de la Sarre ;
- pour le bassin versant de l'Ellé, le sous bassin versant de la Gare.

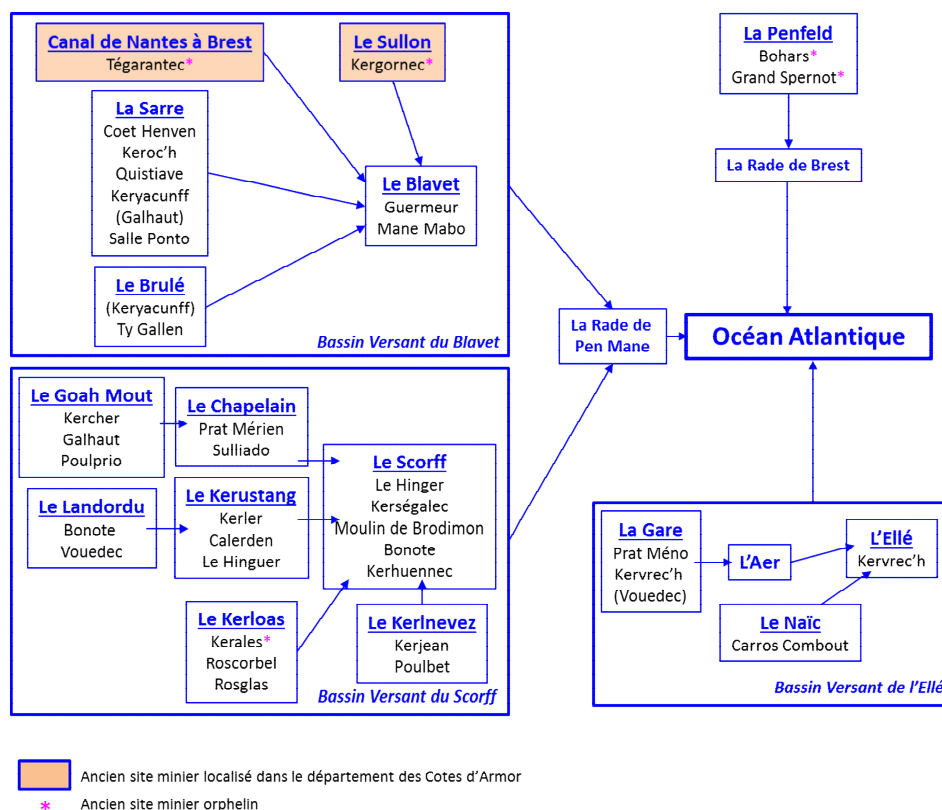


Figure 21 : Principaux bassins versants associés à une partie des anciens sites miniers du Morbihan, du Finistère et des Côtes d'Armor (d'après une figure Areva Mines [2])

Par ailleurs, le bassin versant de la Penfeld renfermant deux anciens sites miniers orphelins (Bohars et Grand Spérnot) a été échantillonné dans le cadre du diagnostic des sites orphelins bretons en juin 2015 ; certains des résultats issus de cette campagne sont rappelés au chapitre 4 de cette annexe.

1 BASSIN VERSANT DU SCORFF

Dans le cadre des contrôles de second niveau, la rivière le Scorff ainsi que quatre sous bassins versants localisés dans le bassin versant du Scorff ont été plus particulièrement échantillonnés par l'IRSN :

- le sous bassin versant du ruisseau du Chapelain ;
- le sous bassin versant du ruisseau du Kerustang ;

- le sous bassin versant du ruisseau de Kerloas ;
- le sous bassin versant du ruisseau de Kerlnevez.

La localisation des points de prélèvement dans ces quatre sous bassins versants et les résultats de mesures associés sont présentés ci-après (cf. § 1.1 à 1.5).

1.1 PRELEVEMENTS DANS LA RIVIERE SCORFF

Un prélèvement d'eau a été effectué par l'IRSN dans le Scorff en aval de l'ensemble des sites miniers⁴ localisés dans ce bassin versant, au lieu-dit "Pont de Kerlo" (Echantillon 56E_SCO_B, cf. Figure 22). Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau et un prélèvement de sédiments dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, au même point (Echantillon SCORFF B, cf. Figure 22).

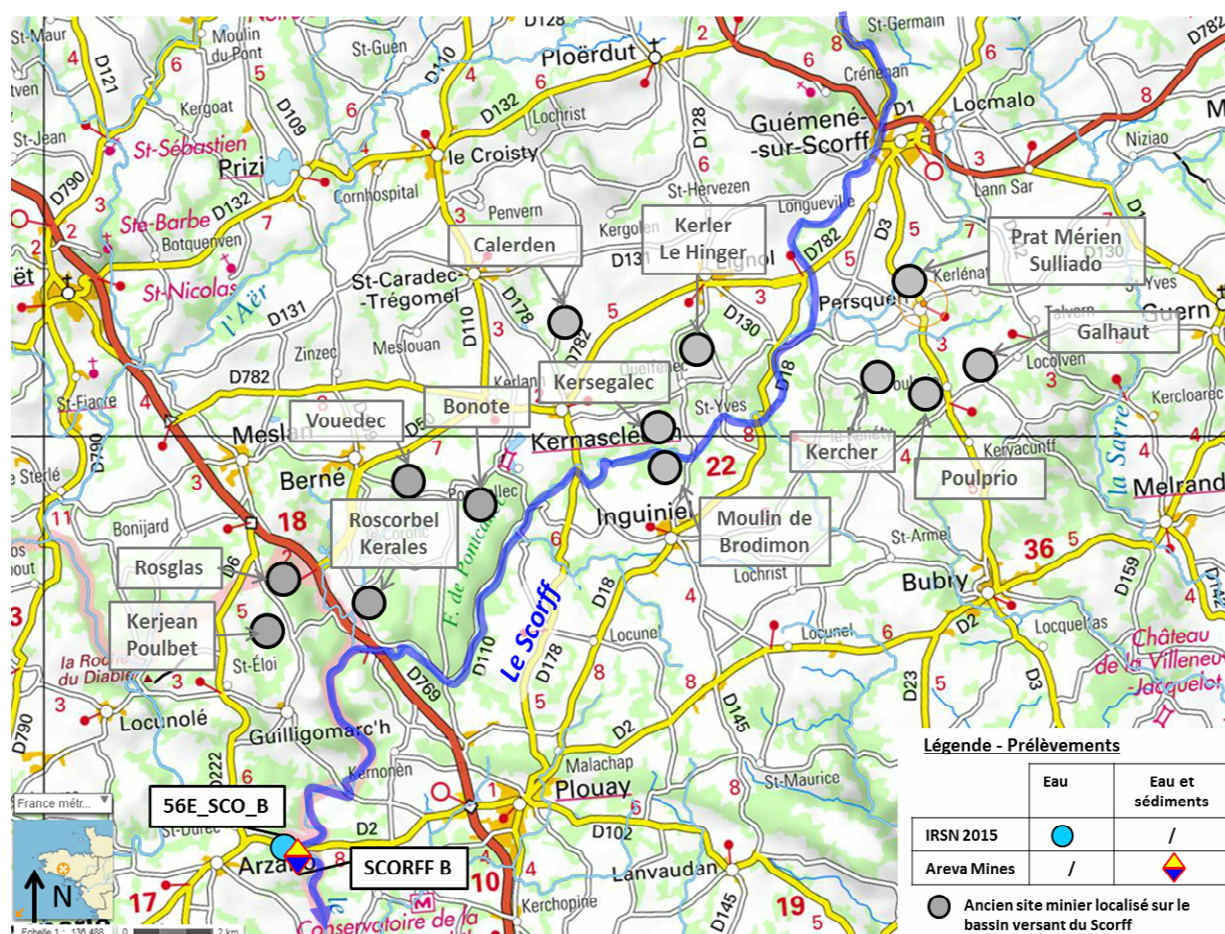


Figure 22 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le Scorff en aval total des sites miniers localisés dans le bassin versant du Scorff (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 7.

⁴ Pour rappel 18 sites sont localisés dans le bassin versant du Scorff : Sulliado, Prat-Mérien, Kercher, Galhaut, Poulprio, Kersegalect, Moulin de Brodimon, Le Hinguer, Kerler, Calerden, Vouedec, Bonote, Kerhuennec, Kerales, Rosglas, Roscorbel, Kerjean et Poulbet.

Tableau 7 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées dans le Scorff en aval total des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Scorff

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [$\text{mBq}.\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq}.\text{L}^{-1}$]
SCORFF B	Le Scorff	Prélèvement au lieu-dit « Pont de Kerlo », en aval total des sites localisés dans le bassin versant du Scorff (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,7 [6,6-6,8]	171	< 1 [<1-<1]		30 [20-40]	
56E_SCO_B		Prélèvement au lieu-dit « Pont de Kerlo », en aval total des sites localisés dans le bassin versant du Scorff à proximité du point Areva Mines SCORFF B (IRSN 2015)	6,5	168		< 1		9 ± 9

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points SCORFF B et 56E_SCO_B sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). De plus, les résultats obtenus par l'IRSN sont cohérents avec ceux d'Areva Mines.

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés par Areva Mines sont présentés au Tableau 8.

Tableau 8 : Résultats de l'analyse des sédiments prélevés au point SCORFF B par Areva Mines en 2012-2013

Echantillon de l'échantillon	Commentaires		Activité en [$\text{Bq}.\text{kg}^{-1}$]*	
			^{238}U	^{226}Ra
SCORFF B	Le Scorff	Prélèvement au lieu-dit « Pont de Kerlo », en aval total des sites localisés dans le bassin versant du Scorff (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 50	80

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par Areva Mines dans les sédiments au point SCORFF B sont du même ordre de grandeur que celles généralement mesurées dans des sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Conclusion : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans le bassin versant du Scorff dans la rivière Le Scorff.

1.2 SOUS BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DU CHAPELAIN

Le sous bassin versant du ruisseau du Chapelain comprend cinq anciens sites miniers d'uranium : le Galhaut, Poulprio, Kercher, Sulliado et Prat Mérien. Quatre prélèvements d'eau et un prélèvement de sédiments ont été réalisés par l'IRSN, en 2015, dans ce sous bassin versant en aval de ces sites (cf. Figure 23) :

- un prélèvement d'eau dans le ruisseau de Goah Mout en aval des sites de Kercher, Galhaut et Poulprio (Echantillon 56E_GOA_B). Des prélèvements d'eau ont également été réalisés par Areva Mines dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013 au même endroit (Echantillon GOAH B) ;
- un prélèvement d'eau dans le ruisseau qui draine le site de Sulliado, avant sa confluence avec le ruisseau du Chapelain (Echantillon 56E_SUL_RUB2). Des prélèvements d'eau ont également été réalisés par Areva Mines dans le cadre de la réalisation du BE en 2011 et du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013 au même endroit (Echantillon SUL RUN). L'IRSN a également déjà échantillonné ce ruisseau en 2009 [7];
- un prélèvement d'eau et de sédiment dans le ruisseau du Chapelain en aval du site de Sulliado et en amont du site de Prat Mérien (Echantillons 56E_CHA_B1 et 56S_CHA_B1) ;
- un prélèvement d'eau dans le ruisseau du Chapelain en aval de la confluence avec le ruisseau du Goah Mout (Echantillon 56E_CHA_B3). Des prélèvements d'eau et de sédiments ont également été réalisés par Areva Mines dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013 au même endroit (Echantillon CHAP B).

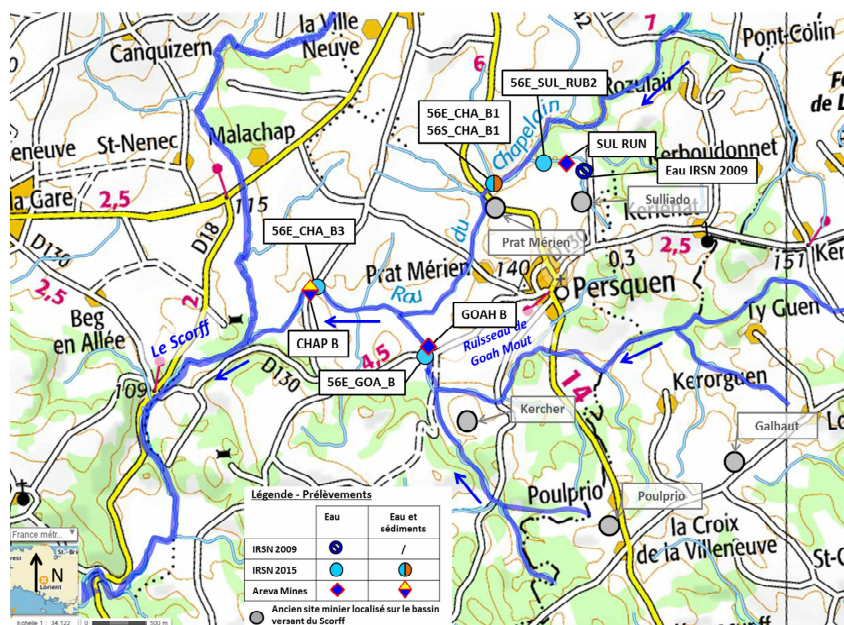


Figure 23 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant du ruisseau du Chapelain en aval éloigné des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 9.

Tableau 9 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2011-2013 et l'IRSN sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Chapelain

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [mBq.L $^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [mBq.L $^{-1}$]
Eau IRSN 2009	Ruisseau drainant le site de Sulliado	Ruisseau en aval du site de Sulliado, à 100 m en amont du point Areva Mines SUL RUN (IRSN 2009, [7])	6,7	148	< 0,5		< 8	
SUL RUN		Prélèvement en aval du site de Sulliado (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,6 [6,2-7,2]	152	< 1 [<1-<1]		30 [20-40]	
		Prélèvement en aval du site de Sulliado (Areva Mines 2011)	6,1	194	5		120	
56E_SUL_RUB2		Prélèvement en aval du site de Sulliado à proximité du point Areva Mines SUL RUN (IRSN 2015)	6,4	193		3,8 ± 0,4		42 ± 22
GOAH B	Ruisseau du Goah Mout	Prélèvement en aval total des sites de Galhaut, Poulprio et Kercher (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,7 [6,5-7,1]	164	< 1 [<1-<1]		40 [30-50]	
56E_GOA_B		Prélèvement en aval total des sites de Galhaut, Poulprio et Kercher au niveau du point Areva Mines GOAH B (IRSN 2015)	6,2	162		< 1		13 ± 9
56E_CHA_B1	Ruisseau du Chapelain	Prélèvement localisé en aval de la confluence du ruisseau drainant Sulliado et en amont du site de Prat Mérien (IRSN 2015)	6,2	174		< 1		9 ± 8
CHAP B		Prélèvement après la confluence avec le Goah Mout, en aval total des sites Galhaut, Poulprio, Kercher, Sulliado et Prat Mérien (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,7 [6,5-7,0]	175	< 1 [<1-2]		< 30 [< 20-50]	
56E_CHA_B3		Prélèvement après la confluence avec le Goah Mout, en aval total des sites Galhaut, Poulprio, Kercher, Sulliado et Prat Mérien au niveau du point Areva Mines CHAPE B (IRSN 2015)	6,3	174		1,2 ± 0,1		13 ± 8

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points SUL RUN, GOAH B, CHAPE B, 56E_GOA_B, 56E_CHA_B1 et 56E_CHA_B3 sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire sauf pour l'activité en radium 226 mesurée en 2011 au point SUL RUN (cf. Annexe 2). De plus, les mesures réalisées aux points 56E_GOA_B et 56E_CHA_B3 sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines dans le cadre de son programme de surveillance (cf. Tableau 9).

La teneur en uranium mesurée au point 56E_SUL_RUB2 est légèrement supérieure à celles observées dans les eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). Elle est également supérieure à celles obtenues par Areva Mines dans le cadre de son programme de surveillance au point SUL RUN (cf. *supra*) mais elle est cohérente avec la teneur en uranium obtenue par Areva Mines en 2011 dans le cadre de la réalisation du bilan environnemental (cf. Tableau 9).

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés par Areva Mines et l'IRSN sont présentés au Tableau 10. Pour l'échantillon prélevé par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb ou du ^{214}Bi .

Tableau 10 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant du Chapelain

Nom de l'échantillon	Commentaires		Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
			^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi
CHAP B	Ruisseau du Chapelain	Prélèvement après la confluence avec le Goah Mout, en aval total des sites Galhaut, Poulprio, Kercher, Sulliado et Prat Mérien (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 25		50		
56S_CHA_B1		Prélèvement localisé en aval de la confluence du ruisseau drainant Sulliado et en amont du site de Prat Mérien (IRSN 2015)		< 120		67 ± 10	63 ± 15

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par Areva Mines et l'IRSN dans les sédiments aux points CHAP B et 56S_CHA_B1 sont cohérentes et du même ordre de grandeur que celles généralement mesurées dans des sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Conclusion : Les valeurs obtenues sur le ruisseau drainant le site de Sulliado pourraient traduire une légère influence du site de Sulliado sur ce dernier. Cette influence reste limitée à ce ruisseau et n'est plus observable dans le ruisseau du Chapelain après la confluence que ce soit sur les eaux de surface ou sur les sédiments (cf. Tableau 9 et Tableau 10). Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans le sous bassin versant du Chapelain dans la rivière Le Chapelain.

1.3 SOUS BASSINS VERSANTS DES RUISSEAUX DU KERUSTANG ET DU LANDORDU

Le sous bassin versant du ruisseau du Kerustang comprend trois anciens sites miniers d'uranium : Le Hinger, Kerler et Calerden. Le sous bassin versant du ruisseau du Landordu comprend deux anciens sites miniers d'uranium : Vouedec et Bonote. Un prélèvement d'eau a été réalisé par l'IRSN en aval de ces sites dans l'étang de Pont Callec après la confluence des ruisseaux du Kerustang et du Landordu (Echantillon 56E_PC_B, cf. Figure 24). Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau et de sédiments dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, dans le ruisseau de Kerustang (Echantillon KUANG_B, cf. Figure 24) et dans le ruisseau de Landordu (Echantillon LNDU_B, cf. Figure 24).

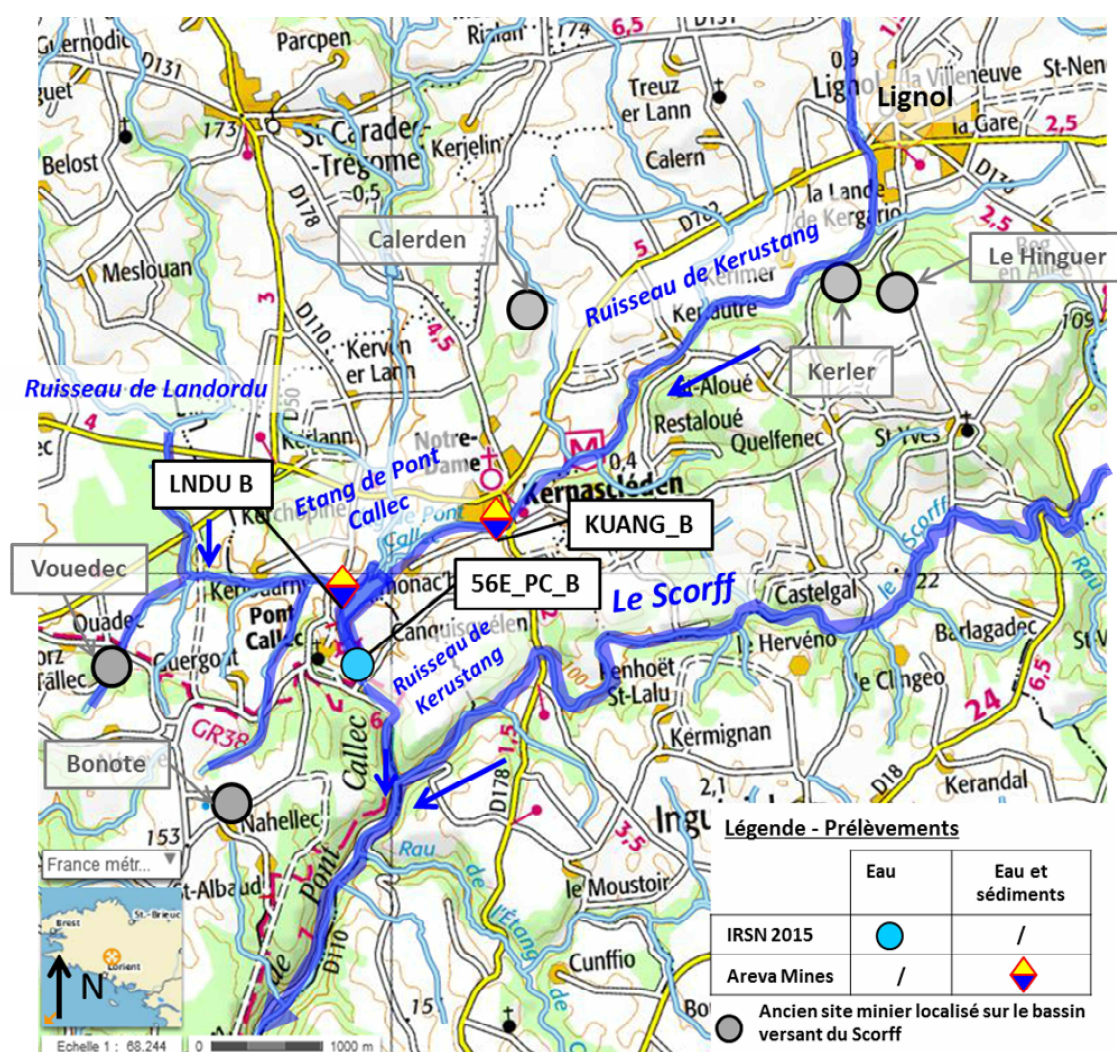


Figure 24 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant des ruisseaux du Kerustang et du Landordu en aval éloigné des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 11.

Tableau 11 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans les bassins versants du Kerustang et du Landordu

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [$\text{mBq}.\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq}.\text{L}^{-1}$]
LNDU B	Ruisseau de Landordu	Prélèvement en aval total des sites de Vouedec et de Bonote avant sa confluence avec le ruisseau du Kerustang (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,7 [6,4-7,1]	135	< 1 [<1-<1]		< 40 [< 20 - 80]	
KUANG B	Ruisseau de Kerustang	Prélèvement en aval total des sites de Le Hinguer, Kerler et Calerden avant sa confluence avec le ruisseau du Landordu (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,8 [6,7-6,9]	157	< 1 [<1-<1]		< 60 [< 20 - 120]	
56E_PC_B	Etang de Pont Callec	Prélèvement en aval total des sites de Le Hinguer, Kerler, Calerden, Vouedec et de Bonote (IRSN 2015)	6,6	173		< 1		< 5

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points LNDU B, KUANG B et 56E_PC_B sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). De plus, les mesures réalisées au point 56E_PC_B sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines dans le cadre de son programme de surveillance (cf. Tableau 11).

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés par Areva Mines sont présentés au Tableau 12.

Tableau 12 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 sur les sédiments prélevés dans les bassins versants du Kerustang et du Landordu

Nom de l'échantillon	Commentaires		Activité en [$\text{Bq}.\text{kg}^{-1}$]*	
			^{238}U	^{226}Ra
LNDU B	Ruisseau de Landordu	Prélèvement en aval total des sites de Vouedec et de Bonote avant sa confluence avec le ruisseau du Kerustang (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 25	60
KUANG B	Ruisseau de Kerustang	Prélèvement en aval total des sites de Le Hinguer, Kerler et Calerden avant sa confluence avec le ruisseau du Landordu (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 50	30

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par Areva Mines dans les sédiments aux points LNDU B et KUANG B sont du même ordre de grandeur que celles généralement mesurées dans des sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Conclusion : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans les sous bassins versants du Kerustang et du Landordu dans les ruisseaux du Kerustang et du Landordu ainsi qu'au niveau de l'étang de Pont Callec.

1.4 SOUS BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DE KERLOAS

Le sous bassin versant du ruisseau du Kerloas comprend trois anciens sites miniers d'uranium : Kerales, Roscorbel et Rosglas. Etant donné que l'IRSN a réalisé un prélèvement d'eau dans le cadre du diagnostic radiologique des sites orphelins bretons en juin 2015, aucun prélèvement supplémentaire n'a été effectué lors des contrôles de second niveau. Ce prélèvement se situe dans le ruisseau de Kerloas en aval des sites de Kerales, Roscorbel et Rosglas (Echantillon KER B2, cf. Figure 25) [14]. Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau et un prélèvement de sédiments dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, dans le ruisseau de Kerloas en aval des sites de Rosglas et de Roscorbel (Echantillons KRLS B, cf. Figure 25)

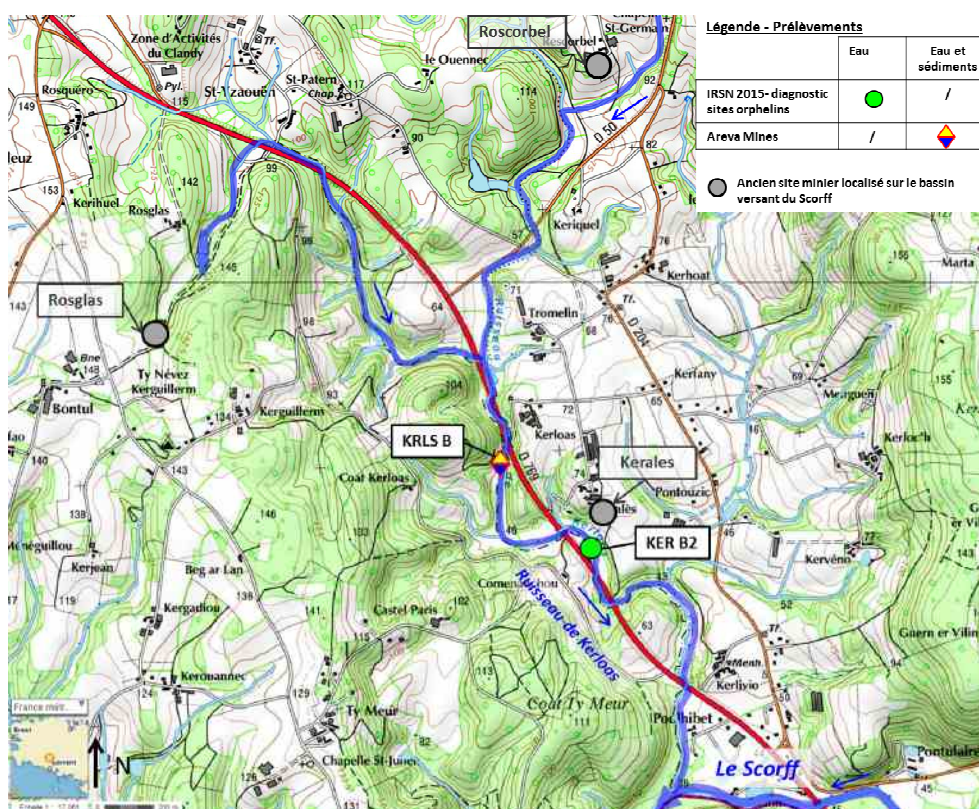


Figure 25 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en juin 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant du ruisseau de Kerloas en aval total des sites miniers Kerales, Roscorbel et Rosglas (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ce point de prélèvement est reporté au Tableau 13.

Tableau 13 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN en juin 2015 et Areva Mines en 2012-2013 sur les prélèvements d'eaux réalisés en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Kerloas

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
KRLS B	Ruisseau de Kerloas	Prélèvement en aval des sites de Rosglas et de Roscorbel et en amont du site de Kerales (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,6 [6,5-6,9]	148	< 1 [<1-<1]		40 [20-60]	
KER B2		Prélèvement en aval des sites de Kerales, Roscorbel et Rosglas (IRSN 2015, [14])	6,9	147		< 1		14 ± 2

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points KRLS B et KER B2 sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). De plus, les mesures réalisées au point KER B2 sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines dans le cadre de son programme de surveillance (cf. Tableau 13).

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés par Areva Mines sont présentés au Tableau 14.

Tableau 14 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant du Kerloas

			Activité en [Bq.kg ⁻¹]*	
Nom de l'échantillon	Commentaires		²³⁸ U	²²⁶ Ra
KRLS B	Ruisseau de Kerloas	Prélèvement en aval des sites de Rosglas et de Roscorbel et en amont du site de Kerales (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	70	80

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par Areva Mines dans les sédiments au point KRLS B sont du même ordre de grandeur que celles généralement mesurées dans des sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Conclusion : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans le sous bassin versant du Kerloas dans le ruisseau du Kerloas.

1.5 SOUS BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DU KERLNEVEZ

Le sous bassin versant du ruisseau du Kerlnevez comprend deux anciens sites miniers d'uranium : Kerjean et Poulbet. Un prélèvement d'eau a été réalisé par l'IRSN en aval éloigné de ces deux sites (Echantillon 29E_POU_RUB, cf. Figure 26). Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, à ce même point (Echantillon KRNZ B, cf. Figure 26).

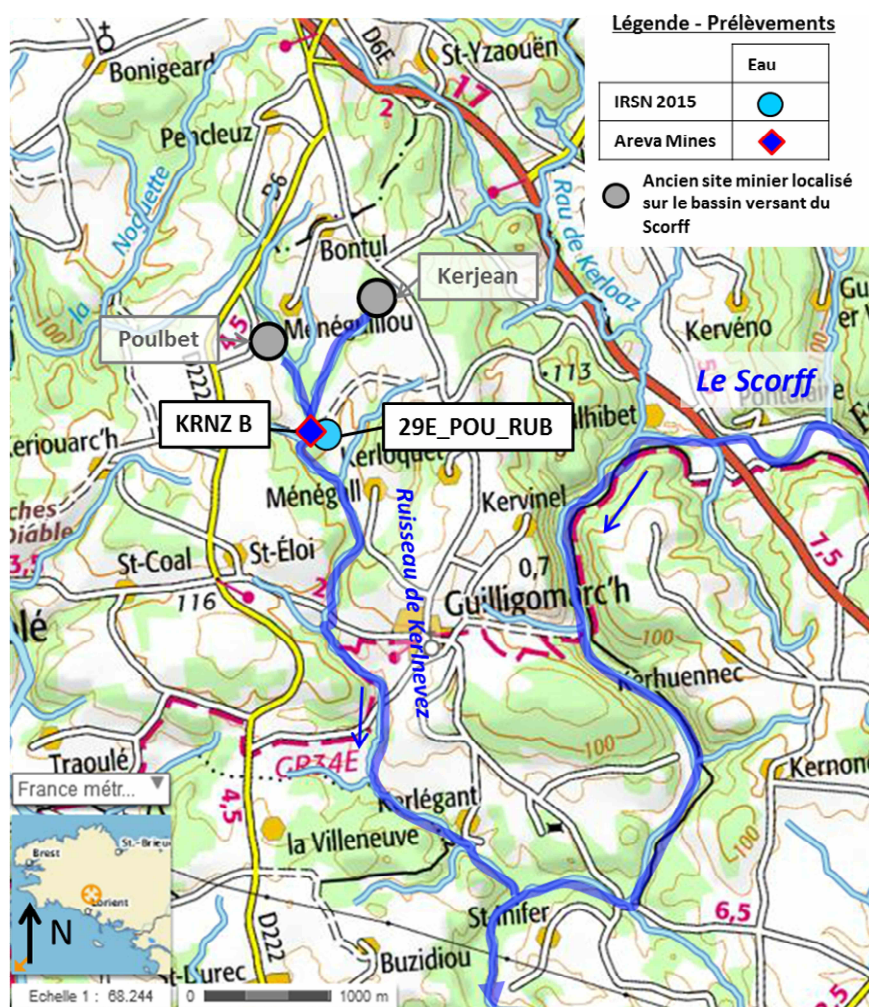


Figure 26 : Localisation des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant du ruisseau de Kerlnevez en aval total des sites miniers de Poulbet et Kerjean (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 15.

Tableau 15 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Kerlnevez

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S.cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g.L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g.L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [mBq.L $^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [mBq.L $^{-1}$]
KRNZ B	Ruisseau de Kerlnevez	Prélèvement en aval total des sites de Poulbet et Kerjean (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,8 [6,3-7,2]	160	< 1 [<1-1]		80 [70 - 90]	
29E_POU_RUB		Prélèvement en aval total des sites de Poulbet et Kerjean au niveau du point de prélèvement Areva Mines KRNZ B (IRSN 2015)	6,0	150		1,26 \pm 0,13		71 \pm 20

Les teneurs en uranium obtenues aux points KRNZ B et 29E_POU_RUB sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2), contrairement aux activités en radium 226 qui sont légèrement supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière. Les mesures réalisées par l'IRSN au point 29E_POU_RUB sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines dans le cadre de son programme de surveillance 2012-2013 (cf. Tableau 15).

Conclusion : Les résultats obtenus mettent en évidence un léger marquage en radium 226 des eaux du ruisseau de Kerlnevez. Ces résultats sont à mettre en regard avec des résultats des analyses effectuées par Areva Mines en champ proche du site de Kerjean dans le cadre de son programme de surveillance 2012-2013 qui révèlent également ce marquage (point KJA RUB, $^{238}\text{U} = 5 \mu\text{g.L}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 90 \text{ mBq.L}^{-1}$, [12]). Cependant, ce dernier n'est plus observable dans le Scorff (cf. § 1.1).

2 BASSIN VERSANT DE L'ELLE

Le bassin versant de la rivière l'Ellé comprend quatre anciens sites miniers d'uranium : Kervrec'h, Prat Meno, Vouedec et Carros Combout. Des prélèvements d'eau et de sédiments ont été réalisés par l'IRSN en aval éloigné de ces sites dans le bassin versant de l'Ellé et en particulier dans le sous bassin versant de La Gare (cf. Figure 27) :

- un prélèvement d'eau et de sédiments dans le ruisseau de la Gare en aval des sites de Kervrec'h, Prat Meno et Vouedec (Echantillons 56E_GARE_B et 56S_GARE_B). Des prélèvements d'eau ont également été effectués par Areva Mines dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013 dans la même zone (Echantillon GARE B) ;
- un prélèvement d'eau dans la rivière de l'Ellé en aval total des quatre sites (Echantillon 29E_ELLE_B). Des prélèvements d'eau et de sédiments ont également été réalisés par Areva Mines dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013 dans la même zone (Echantillon ELLE B).

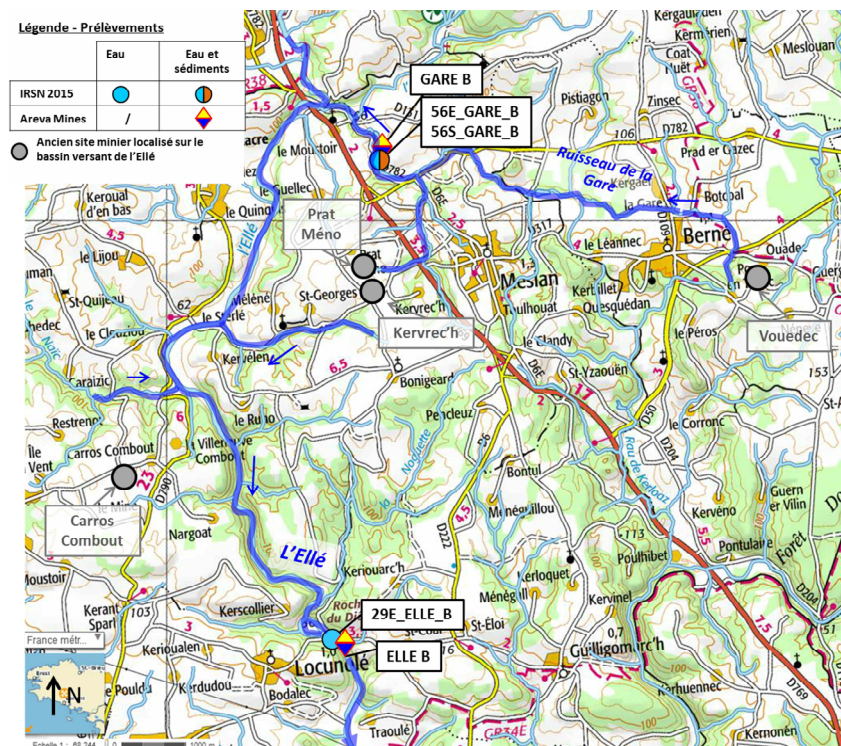


Figure 27 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le bassin versant de l'Ellé en aval éloigné des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 16.

Tableau 16 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant de l'Ellé

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
GARE B	Ruisseau de la Gare	Prélèvement en aval des sites de Kervrec'h, Vouedec et Prat Méno (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,9 [6,5-7,1]	161	< 1 [<1-<1]		30 [20-50]	
56E_GARE_B		Prélèvement en aval des sites de Kervrec'h, Vouedec et Prat Méno au niveau du point de prélèvement Areva Mines GARE B (IRSN 2015)	6,0	160		< 1		14 ± 13
ELLE B	l'Ellé	Prélèvement en aval total des sites de Kervrec'h, Prat Méno Vouedec et Carros Combout (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,8 [6,4-7,2]	169	< 1 [<1-<1]		< 40 [<20-70]	
29E_ELLE_B		Prélèvement en aval total des sites de Kervrec'h, Prat Méno Vouedec et Carros Combout au niveau du point de prélèvement Areva Mines ELLE B (IRSN 2015)	6,3	193		< 1		28 ± 12

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 obtenues aux points GARE B, ELLE B, 56E_GARE_B et 29E_ELLE_B sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). Les mesures réalisées par l'IRSN aux points 56E_GARE_B et 29E_ELLE_B sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines dans le cadre de son programme de surveillance 2012-2013 (cf. Tableau 16).

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés par Areva Mines et l'IRSN sont présentés au Tableau 17. Pour l'échantillon prélevé par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb ou du ^{214}Bi .

Tableau 17 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant de l'Ellé

Nom de l'échantillon			Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
			^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi
GARE B	Ruisseau de la Gare	Prélèvement en aval des sites de Kervrec'h, Vouedec et Prat Méno (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 25		30		
56S_GARE_B		Prélèvement en aval des sites de Kervrec'h, Vouedec et Prat Méno au niveau du point de prélèvement Areva Mines GARE B (IRSN 2015)		< 130		171 ± 26	159 ± 25
ELLE B	l'Ellé	Prélèvement en aval total des sites de Kervrec'h, Prat Méno, Vouedec et Carros Combout (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 25		80		

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par Areva Mines et l'IRSN dans les sédiments aux points GARE B, ELLE B et 56S_GARE_B sont cohérentes et du même ordre de grandeur que celles généralement mesurées dans des sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Conclusion : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans le bassin versant de l'Ellé dans le ruisseau de la Gare et la rivière de l'Ellé.

3 BASSIN VERSANT DU BLAVET

Dans le cadre des contrôles de second niveau, la rivière le Blavet ainsi que deux sous bassins versants localisés dans le bassin versant du Blavet ont été plus particulièrement échantillonnés par l'IRSN :

- le sous bassin versant de la rivière la Sarre;
- le sous bassin versant du site de Keryacunff (qui est un sous bassin versant de la Sarre).

La localisation des points de prélèvement dans ces deux sous bassins versants et les résultats de mesures associés sont présentés ci-après (cf. § 3.1 à 3.3).

3.1 PRÉLÈVEMENT DANS LA RIVIÈRE LE BLAVET

Un point de prélèvement d'eau a été réalisé par l'IRSN dans le Blavet en aval de l'ensemble des sites miniers⁵ localisés dans ce bassin versant, au lieu-dit "Pont Neuf" (Echantillon 56E_BLA_B, cf. Figure 28). Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau dans le Blavet, dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, en aval total de l'ensemble des sites miniers du bassin versant du Blavet (Echantillon BLAVE B, cf. Figure 28) en amont du point de prélèvement de l'IRSN.

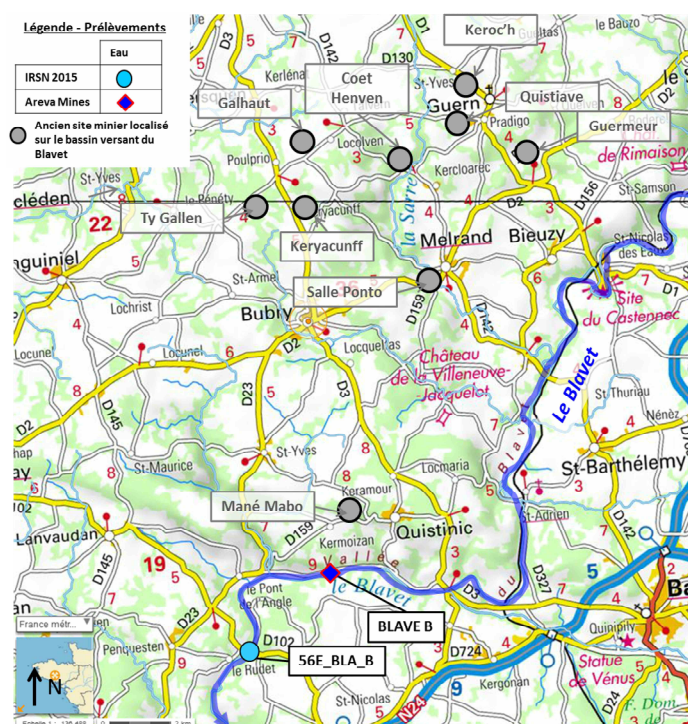


Figure 28 : Localisation des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans le Blavet en aval total des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 18.

Tableau 18 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées dans le Blavet en aval total des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant du Blavet

⁵ Pour rappel 9 sites du Morbihan sont localisés dans le bassin versant du Blavet : Coet Henven, Salle Ponto, Keroc'h, Quistave, Keryacunff, Ty-Gallen, Guermeur, Galhaut et Mane Mabo.

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [µS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [µg.L ⁻¹]	U _{total} [µg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
BLAVE B	Le Blavet	Prélèvement en aval total des sites localisés dans le bassin versant du Blavet (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	7,1 [6,7-7,2]	237	< 1 [<1-<1]		< 40 [<20-80]	
56E_BLA_B		Prélèvement au lieu-dit « Pont Neuf », en aval total des sites localisés dans le bassin versant du Blavet en aval du point Areva Mines BLAVE B (IRSN 2015)	5,8	216		< 1		18 ± 7

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points BLAVE B et 56E_BLA_B sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). De plus, les résultats obtenus par l'IRSN sont cohérents avec ceux d'Areva Mines.

Conclusion : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans le bassin versant du Blavet dans la rivière du Blavet.

3.2 LE SOUS BASSIN VERSANT DE LA SARRE

Le sous bassin versant de la rivière la Sarre comprend six anciens sites miniers d'uranium : Keroc'h, Quistave, Coet Henven, Galhaut, Keryacunff et Salle Ponto. Un prélèvement d'eau et de sédiments a été réalisé par l'IRSN en aval de l'ensemble de ces sites (Echantillons 56E_SAR_B et 56S_SAR_B, cf. Figure 29). Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau et un prélèvement de sédiments dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, à ce même point (Echantillon SARRE B, cf. Figure 29).

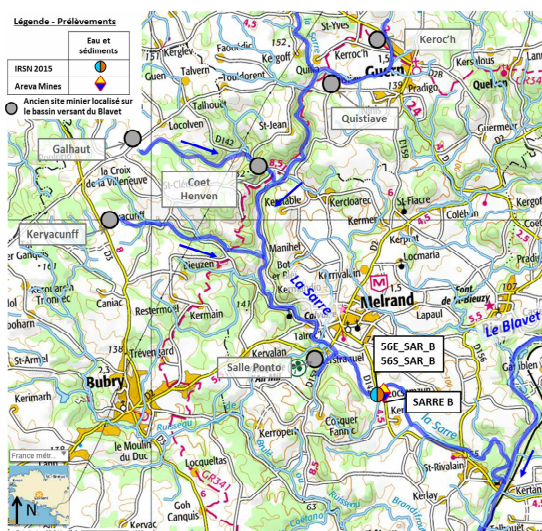


Figure 29 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2012-2013 dans la Sarre en aval total des sites miniers (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 19.

Tableau 19 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées dans La Sarre en aval total des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant de la Sarre

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S.cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g.L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g.L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [mBq.L^{-1}]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [mBq.L^{-1}]
SARRE B	La Sarre	Prélèvement en aval total des sites localisés dans le bassin versant de la Sarre (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,4 [5,2-7,0]	161	< 1 [<1-<1]		< 20 [<20-20]	
56E_SAR_B		Prélèvement en aval total des sites localisés dans le bassin versant de la Sarre au niveau du point Areva Mines SARRE B (IRSN 2015)	7,0	179		< 1		9 ± 6

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points SARRE B et 56E_SAR_B sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). De plus, les résultats obtenus par l'IRSN sont cohérents avec ceux d'Areva Mines.

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés par Areva Mines et l'IRSN sont présentés au Tableau 20. Pour l'échantillon prélevé par l'IRSN, l'activité massique de ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb ou du ^{214}Bi .

Tableau 20 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2012-2013 et l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés dans le bassin versant de la Sarre

Nom de l'échantillon	Commentaires		Activité en [Bq.kg^{-1}]*				
			^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi
SARRE B	La Sarre	Prélèvement en aval total des sites localisés dans le bassin versant de la Sarre (réalisé dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	< 50		30		
56S_SAR_B		Prélèvement en aval total des sites localisés dans le bassin versant de la Sarre au niveau du point Areva Mines SARRE B (IRSN 2015)		< 600 ^{234}Th < 100		206 ± 21	196 ± 32

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par Areva Mines et l'IRSN dans les sédiments aux points SARRE B et 56S_SAR_B sont cohérentes et du même ordre de grandeur que celles généralement mesurées dans des sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Conclusion : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'impact de l'ensemble des sites localisés dans le bassin versant de la Sarre dans la rivière de la Sarre.

3.3 LE SOUS BASSIN VERSANT DU SITE DE KERYACUNFF

Le site de Keryacunff se situe en amont d'un sous bassin versant qui alimente la rivière la Sarre (cf. Figure 30). L'IRSN a réalisé deux prélèvements d'eau et trois prélèvements de sédiments en aval de ce site dans trois étangs (Echantillons 56E_KYU_ETGB1, 56S_KYU_ETGB1, 56S_KYU_ETGB2, 56E_KYU_ETGB3 et 56S_KYU_ETGB3, cf. Figure 30). Areva Mines a également effectué des prélèvements d'eau dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013 et dans le cadre du bilan environnemental en 2011, au point IRSN 56S_KYU_ETGB2 (Echantillon Areva Mines KYU ETG, cf. Figure 30).

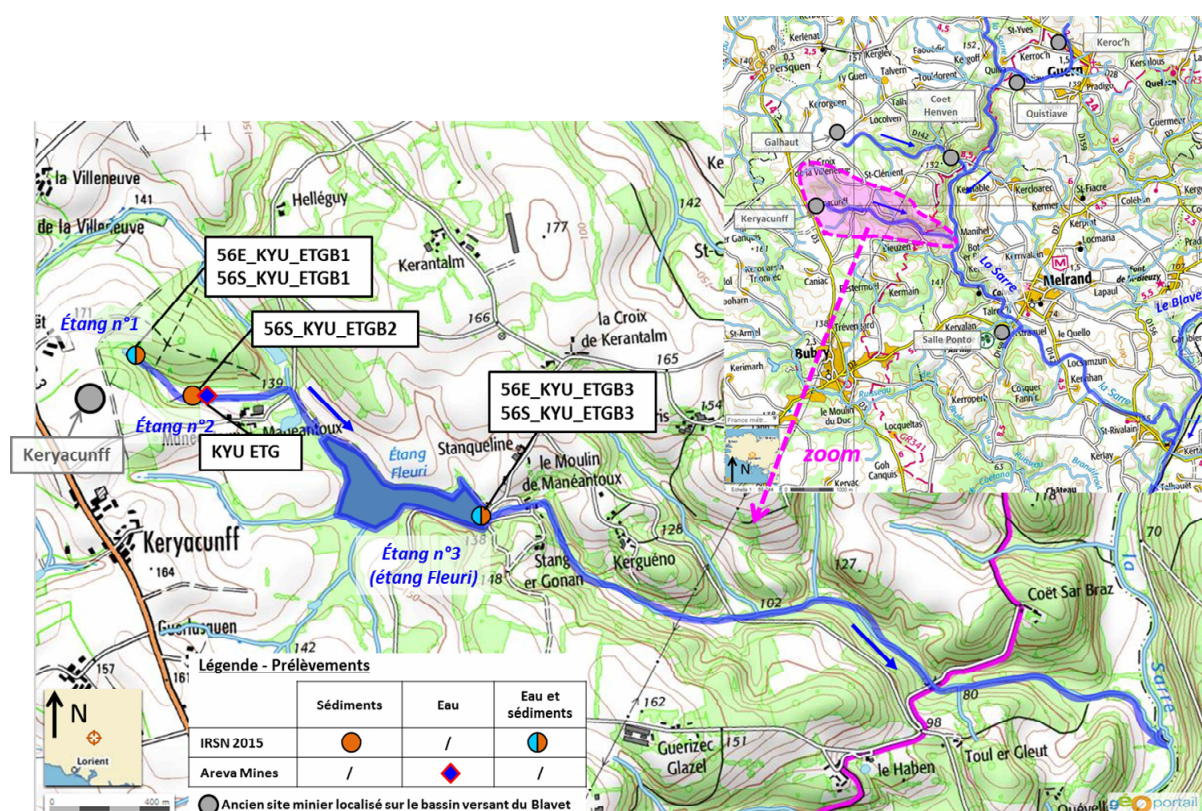


Figure 30 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments réalisés par l'IRSN en 2015 et Areva Mines en 2011-2013 en aval du site Keryacunff (sur fond Géoportail ©IGN [4])

Résultats concernant les eaux de surface

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 21.

Tableau 21 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines en 2011-2013 et l'IRSN en 2015 sur les eaux prélevées en aval du site de Keryacunff

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S.cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g.L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g.L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [mBq.L^{-1}]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [mBq.L^{-1}]
56E_KYU_ETGB1	Etang n°1	Prélèvement en aval du site de Keryacunff (IRSN 2015)	7,3	166		$1,14 \pm 0,1$		56 ± 32
KYU ETG	Etang n°2	Prélèvement en aval du site de Keryacunff (Areva Mines 2011, [2])	6,4	177	< 1		100	
		Prélèvement en aval du site de Keryacunff (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,7 [6,1-8,0]	191	< 1 [<1-1]		60 [30 - 80]	
56E_KYU_ETGB3	Etang n°3 (Etang Fleuri)	Prélèvement en aval du site de Keryacunff localisé en sorti de l'étang Fleuri (IRSN 2015)	6,6	174		< 1		40 ± 12

Les teneurs en uranium obtenues aux points KYU ETG, 56E_KYU_ETGB1 et 56E_KYU_ETGB3 sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2), contrairement à l'activité en radium 226 dans l'étang n°2 qui est légèrement supérieure à celle généralement observée dans des eaux de surface hors influence minière. Ces mesures réalisées aux points 56E_KYU_ETGB1 et 56E_KYU_ETGB3 sont globalement cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines.

Résultats concernant les sédiments

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments prélevés l'IRSN sont présentés au Tableau 22. L'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb ou du ^{214}Bi .

Tableau 22 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN en 2015 sur les sédiments prélevés en aval du site de Keryacunff

Nom de l'échantillon	Commentaires		Activité en [Bq.kg^{-1}]*		
			$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{214}Pb	^{214}Bi
56S_KYU_ETGB1	Etang n°1	Prélèvement en aval du site de Keryacunff (IRSN 2015)	350 ± 140	410 ± 70	410 ± 70
56S_KYU_ETGB2	Etang n°2	Prélèvement en aval du site de Keryacunff (IRSN 2015)	660 ± 150	1510 ± 230	1470 ± 210
56S_KYU_ETGB3	Etang n°3 (Etang Fleuri)	Prélèvement en aval du site de Keryacunff localisé en sorti de l'étang Fleuri (IRSN 2015)	< 230 $^{234}\text{Th} = 92 \pm 20$	400 ± 60	380 ± 60

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées par l'IRSN au point 56S_KYU_ETGB2 et dans la moindre mesure aux points 56S_KYU_ETGB1 et 56S_KYU_ETGB3 pour ce qui concerne le radium 226, sont supérieures à celles observées

Conclusion : Les résultats obtenus mettent en évidence un marquage en radium 226 des sédiments des étangs n°2 et n°3 localisés en aval du site de Keryacunff. Ces résultats sur les sédiments sont à mettre en regard avec les résultats des analyses effectuées sur les eaux de l'étang n°2 qui révèlent également un marquage en radium 226. Cependant, ce dernier n'est plus observable dans la Sarre (cf. § 3.2).

Le bassin versant de la Penfeld comprend deux anciens sites miniers d'uranium : Bohars et Grand Spérnot. Etant donné que l'IRSN a réalisé plusieurs prélèvements d'eaux en aval de ces deux sites miniers dans le cadre du diagnostic radiologique des sites orphelins bretons en juin 2015, aucun prélèvement supplémentaire n'a été effectué lors des contrôles de second niveau [14]. Ces prélèvements se situent (cf. Figure 31) :

- [illegible]

IRSN

Les résultats d'analyse issus de ce diagnostic sont présentés ci-après (cf. Tableau 23).

Tableau 23 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN en juin 2015 sur les prélèvements d'eaux réalisés en aval des anciens sites miniers localisés dans le bassin versant de la Penfeld

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq}.\text{L}^{-1}$]
BOH TB	Aval du site de Bohars	Prélèvement en aval du site de Bohars dans le ruisseau drainant le site au nord (IRSN 2015, [14])	6,6	233	< 1	17 ± 3
BOH PB		Prélèvement en aval du site de Bohars dans le ruisseau drainant le site au sud (IRSN 2015, [14])	6,4	271	< 1	16 ± 3
GD-S BT	Aval du site de Grand Spérnot	Prélèvement en aval du site de Grand Spérnot (IRSN 2015, [14])	7,0	356	< 1	8 ± 2

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points BOH TB, BOH PB et GD-S BT sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

**Annexe 4: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques
et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers
du Morbihan : Site de Prat Mérien**

Site de Prat Mérien

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	Kercher et Sulliado
Département	Morbihan (56)		
Commune	Persquen		
Cadastre	<p><u>Propriété non Areva Mines</u> : Commune de Persquen, section ZC parcelle 40.</p> <p><u>Propriété Areva Mines</u> : Commune de Persquen, section ZC parcelle 39 (cf. Figure 33)</p>		
Propriété	Areva Mines et Privée		
Surface du site	3 ha 60 a		

Source principale : Areva Mines [2]

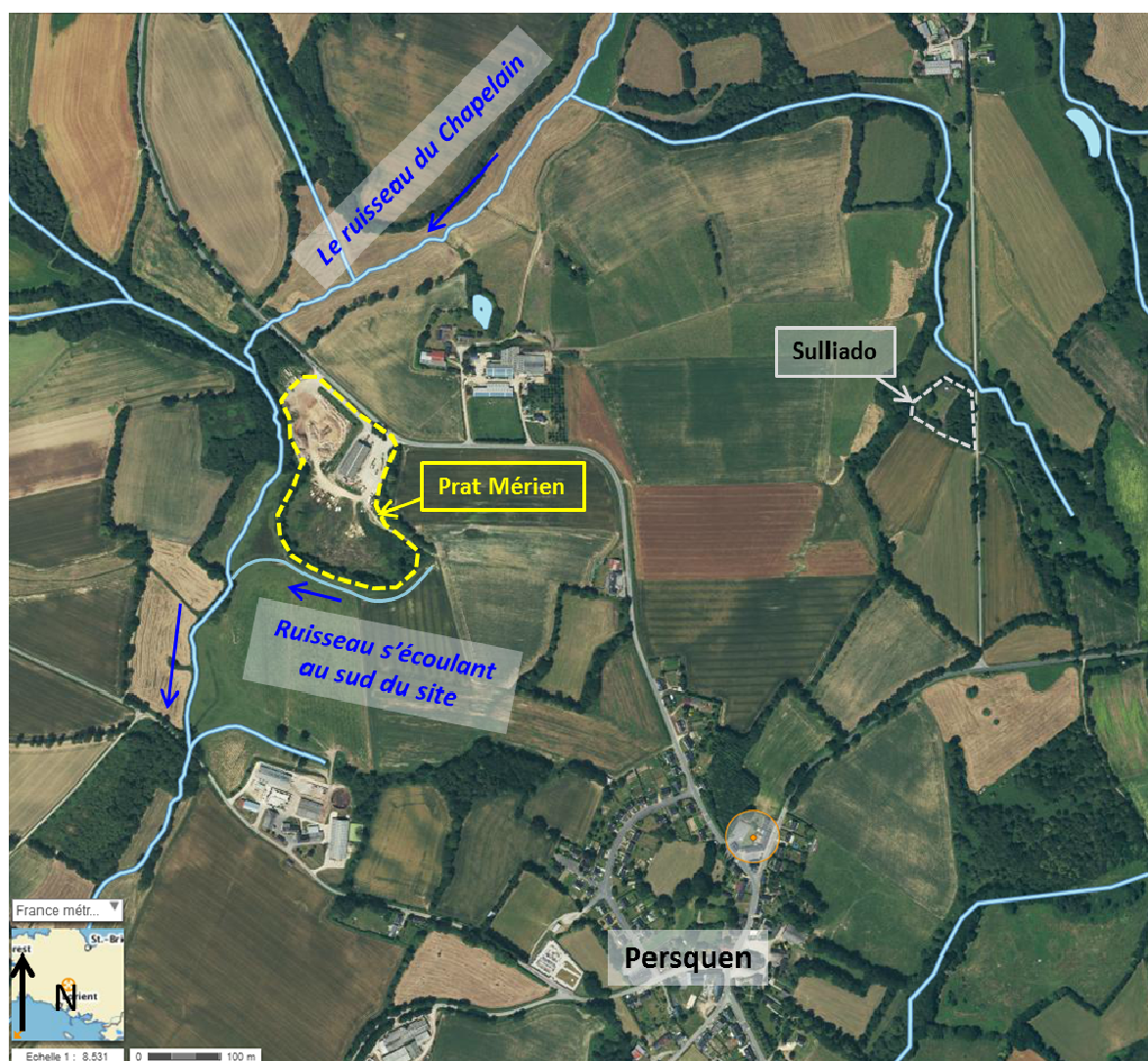


Figure 32 : Vue aérienne du site de Prat Mérien, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1 NATURE DES TRAVAUX MINIERES ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	<p>Travaux Miniers Souterrains (TMS) : ils sont constitués d'un puits (puits Saint Hervé) et de galeries réparties sur quatre niveaux (N-30, N-45, N-60 et N-90).</p> <p>Mine à Ciel Ouvert (MCO) : une fosse de 45 m de profondeur (cf. Figure 34).</p>
Période d'exploitation	1956 à 1982
Production d'uranium [T]	72,013
Lieu de traitement du minéral	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	<p>-TMS : le puits Saint Hervé a été intégralement remblayé. Un tumulus de 3,5 m de diamètre sur 1,8 m de hauteur matérialise son emplacement.</p> <p>-MCO : La fosse a été vidangée entre 1992 et 1993 en concertation avec les élus et les services de l'Etat, puis remblayée intégralement avec les produits disponibles sur place (780 000 m³ de stériles stockés sous forme de verse). La zone de la fosse a été remodelée conformément à la topographie environnante.</p> <p>-Installation de surface : l'ancien carreau minier a été réaménagé en une plateforme : une partie des stériles miniers a servi à rehausser le niveau du carreau minier de 3 à 4 m (cf. Figure 34). Ils ont ensuite été recouverts de 40 à 50 cm de terre végétale.</p>
Fin des réaménagements	1993
Servitudes	/
Autres	La parcelle 39 (section ZC) appartenant à Areva Mines a été choisie pour recevoir les stériles miniers issus des travaux d'assainissement des zones de réutilisation de stériles miniers d'uranium dans le domaine public en application de la circulaire du 8 août 2013 [28]

Source principale : Areva Mines [2]

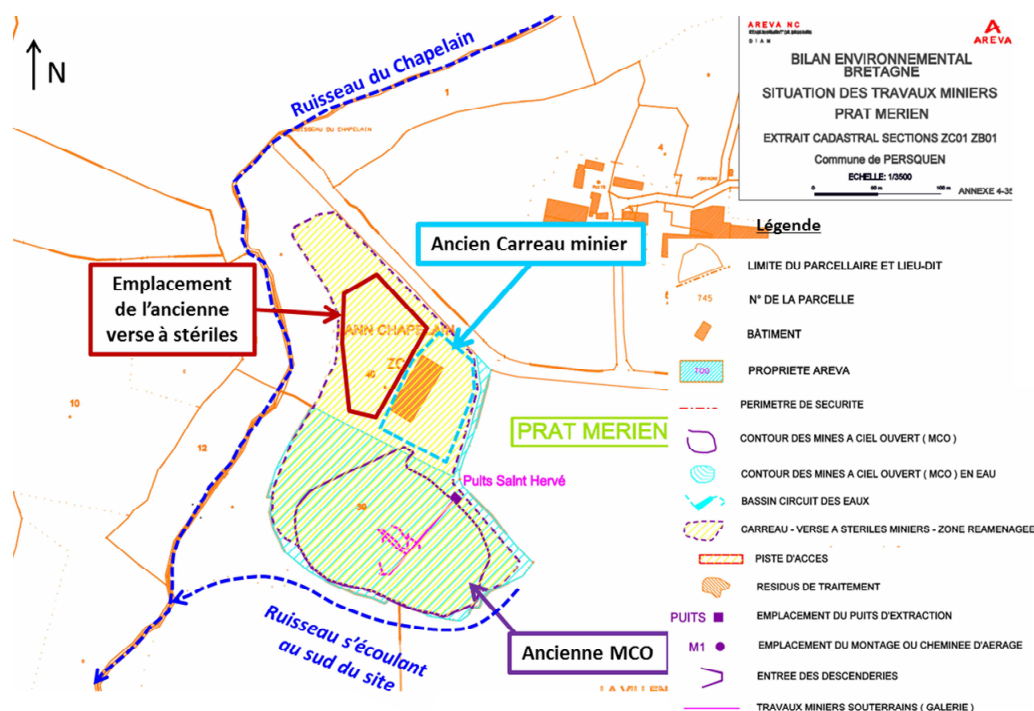


Figure 33 : Situation des travaux miniers du site de Prat Mérien sur plan cadastral (source Areva Mines [2])



Figure 34 : Photographies des travaux miniers de Prat Mérien avant et en cours de réaménagement ; A- MCO de Prat Mérien en eau, B-Zone de stockage des stériles miniers après réaménagement de la MCO et décaissement de la zone, C- MCO de Prat Mérien en cours de vidange (source M. Jarno)

2 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Prat Mérien est localisé à 800 m au nord-ouest de Persquen. Le ruisseau du Chapelain, affluent du Scorff, s'écoule à l'ouest du site. Un ruisseau, affluent du ruisseau du Chapelain, s'écoule également au sud du site (cf. Figure 35).

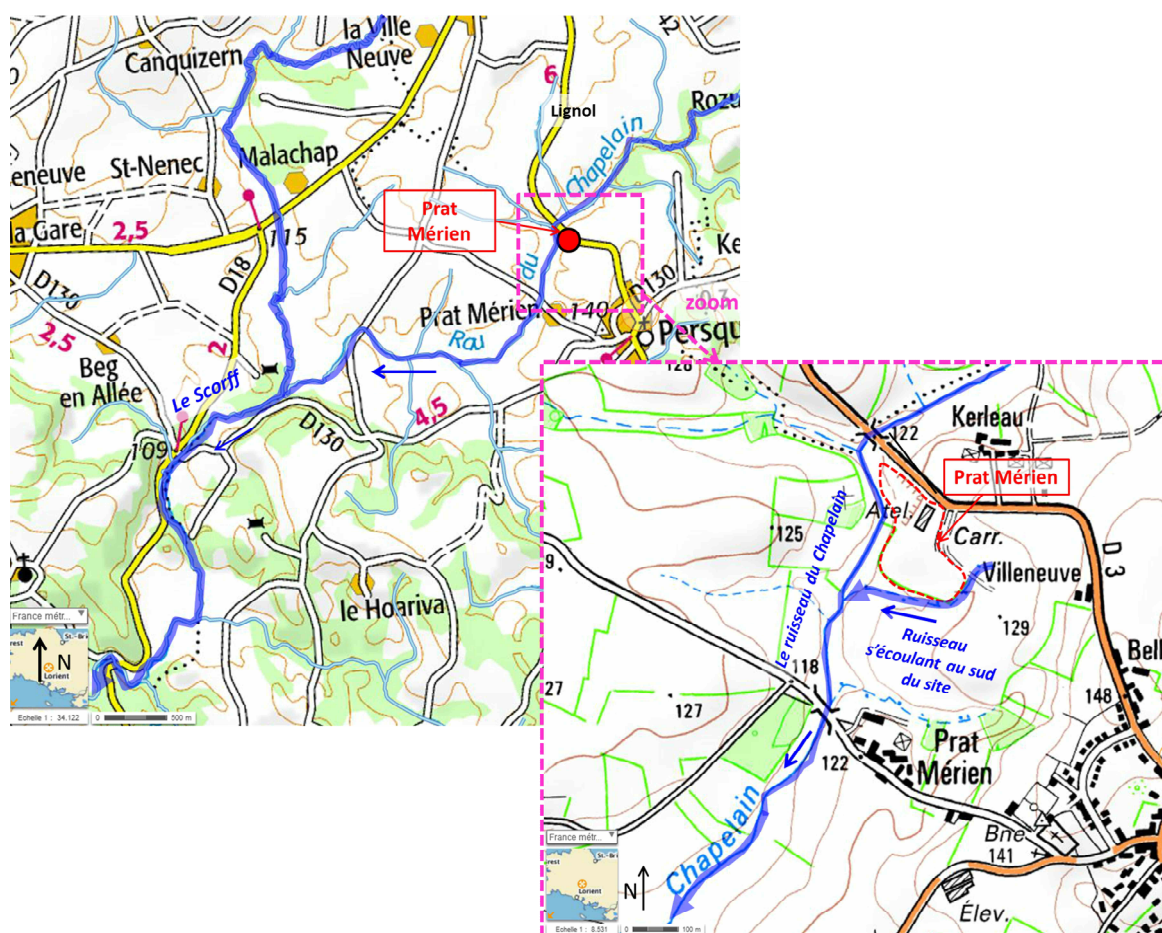


Figure 35 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Prat Mérien ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3 OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
17 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
Sur site : Effectuer des mesures radiométriques, préciser l'usage et l'accès au site	
Champ proche : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site	
Personnes présentes	
M. le Maire de Persquen, le propriétaire de la parcelle ZC40	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Puits Saint Hervé	X = 238 192 ; Y = 6 788 649
MCO	X = 238 130 ; Y = 6 788 634

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

L'ancienne mine à ciel ouvert se situe sur une parcelle non cloturée appartenant à Areva Mines (parcelle ZC 39). Cette dernière est en friche (genêts, ronces) et aucun usage n'a été constaté lors de la visite de l'IRSN en 2015 (cf. Figure 36 et Figure 37). Elle a été choisie comme zone de dépôt des stériles miniers issus des travaux d'assainissement des zones de réutilisation de stériles miniers d'uranium dans le domaine public, en application de la circulaire du 8 août 2013 [28].

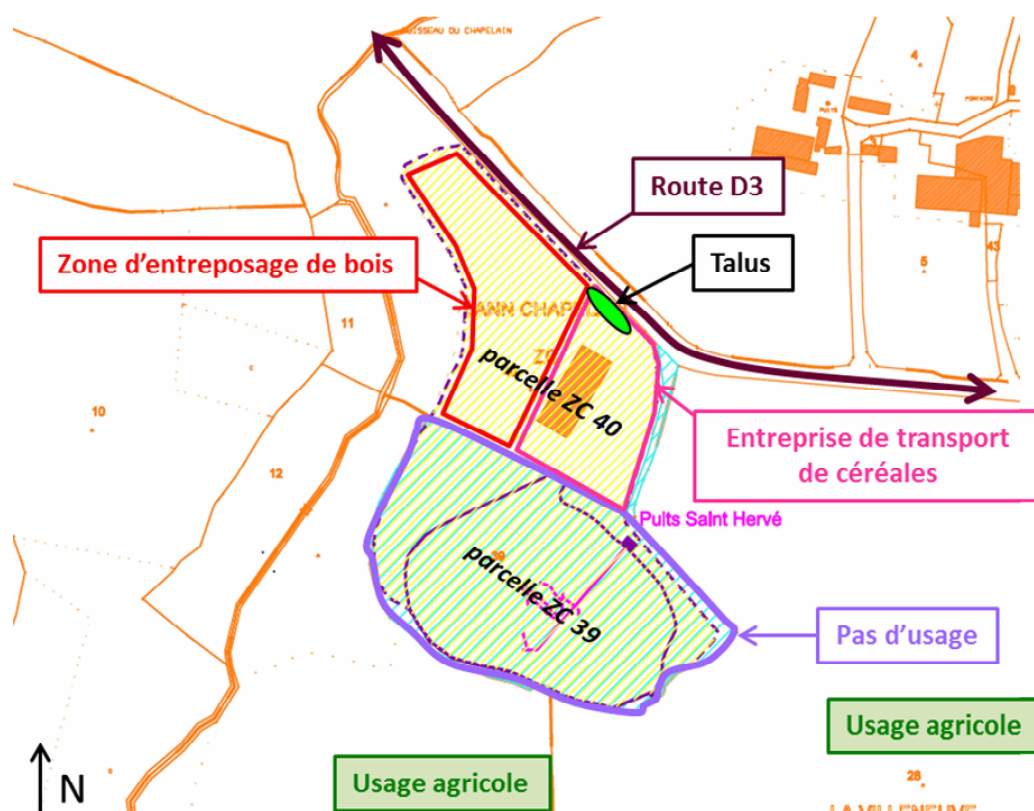


Figure 36 : Usages constatés sur le site de Prat Mérien en 2015 (sur plan cadastral source [2])

La parcelle ZC 40 est occupée à la fois par une entreprise de transport de céréales (zone de l'ancien carreau minier, cf. Figure 33, Figure 36 et Figure 37) et un dépôt de bois biomasse (zone de l'ancienne verse à stériles, cf. Figure 33, Figure 36 et Figure 37). Les locaux de l'entreprise de transport sont composés d'un grand hangar et de bungalows utilisés comme bureau (cf. Figure 36 et Figure 37).



Figure 37 : Photographies du site de Prat Mérien (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiométriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiométriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre de la réalisation du BE sur le site de Prat Mérien au niveau de l'ancien carreau minier, de l'emplacement de l'ancienne verse à stériles,

de la MCO, du puits Saint Hervé et d'un talus composé de stériles en bordure de la route D3 (cf. Tableau 24 et Figure 36) [2].

Tableau 24 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Prat Mérien [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Carreau du site (entreprise)	120-200
Mine à ciel ouvert	180-1 100 (moyenne : 320)
Puits Saint Hervé	500-1 200
Emplacement de l'ancienne verse à stériles	120-250
Talus en bordure de la route D3	350-1 250

Les résultats des mesures radiamétriques effectuées au niveau de l'ancien carreau minier et de l'emplacement de l'ancienne verse à stériles sont de l'ordre de 1 à 2 fois le bruit de fond naturel. Les valeurs relevées au niveau de la MCO, du puits Saint Hervé et du talus en bordure de la route D3 varient de 1 à 10 fois le bruit de fond naturel.

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées par l'IRSN sur le site de Prat Mérien à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 38). Elles ont essentiellement concerné les zones occupées par l'entreprise (parcelle ZC 40), débroussaillées et faciles d'accès. Le débit de dose mesuré autour des bâtiments (hangar et bungalows) est de l'ordre de 1 à 2 fois le bruit de fond avec quelques zones de faible étendue à 2 à 3 fois le bruit de fond naturel (partie nord-est du carreau minier et limite parcelle ZC 40-39). Une zone localisée entre la zone d'entreposage de bois et l'ancien carreau minier présente des débits de dose compris entre 3 et 5 fois le bruit de fond naturel. Le chemin qui mène au puits Saint Hervé présente des débits de dose jusqu'à 7 fois le bruit de fond naturel. La zone de la MCO investiguée présente des débits de dose entre 3 et 8 fois le bruit de fond naturel.

Ces valeurs sont cohérentes avec celles rapportées par Areva Mines (cf. Tableau 24).

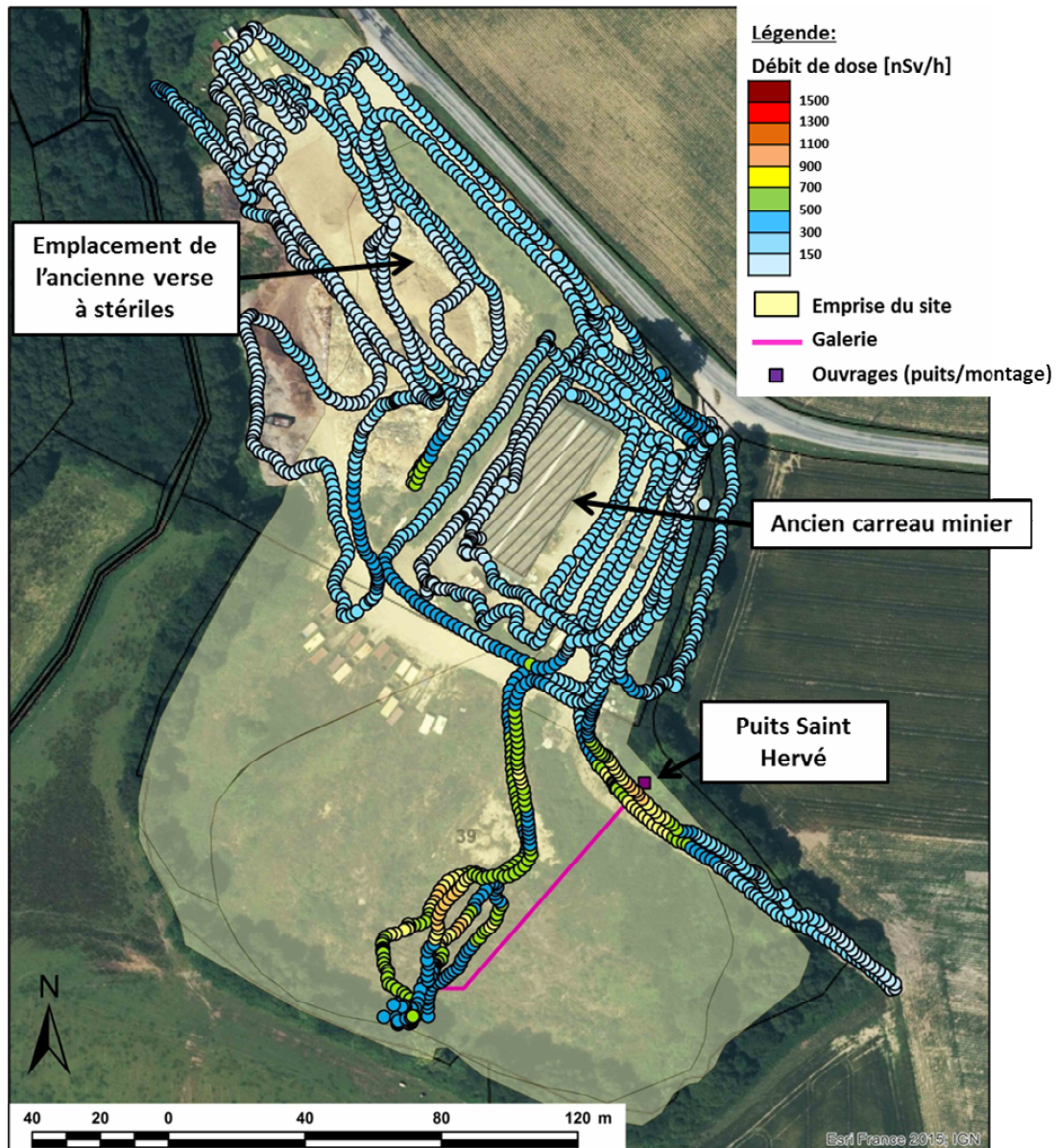


Figure 38 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site de Prat Mérien avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Données Areva Mines

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à différents prélèvements d'eau dans l'environnement du site (cf. Figure 39) [2, 12] :

- dans le ruisseau du Chapelain en aval du site (Echantillon PRT CHA) ;
- dans le ruisseau qui s'écoule au sud du site, au droit de la MCO (Echantillon PRT RUS).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, deux prélèvements d'eau ont été effectués par l'IRSN en 2015 dans l'environnement du site de Prat Mérien (cf. Figure 39 et Figure 40) :

- un prélèvement dans le ruisseau s'écoulant au sud du site, au droit de la MCO (Echantillon 56E_PRT_RUB) ;
- un prélèvement dans le ruisseau du Chapelain en aval du site et du point de prélèvement Areva Mines PRT CHA (Echantillons 56E_CHA_B2).

Par ailleurs, lors de la visite de l'IRSN en août 2009, un prélèvement d'eau a été effectué dans le ruisseau du Chapelain au droit du site (cf. Figure 39) [7].

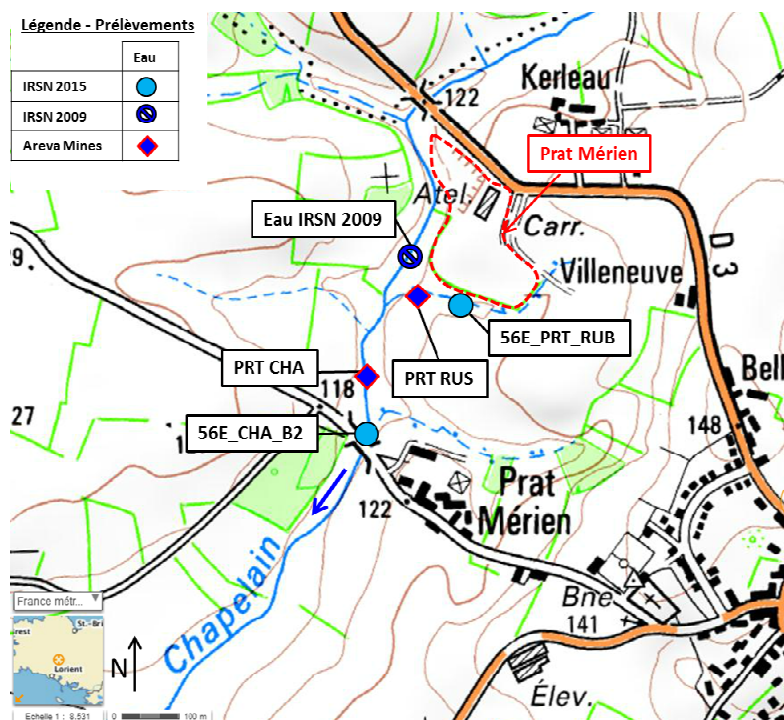


Figure 39 : Localisation des points de prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche de Prat Mérien (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN 2009 [7])



Figure 40 : Photographie du point de prélèvement d'eau dans le ruisseau du Chapelain (56E_CHA_B2, photographie ©IRSN).

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 25.

Tableau 25 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Prat Mérien

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [µS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [µg.L ⁻¹]	U _{total} [µg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
56E_PRT_RUB	Ruisseau s'écoulant au sud du site	Prélèvement au droit de la MCO (IRSN 2015)	6,0	227		95,0 ± 10,0		177 ± 42
PRT RUS		Prélèvement au droit de la MCO (Areva Mines 2011, [2])	5,8	262	24		110	
		Prélèvement au droit de la MCO (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,7 [6,5-6,9]	210	<2 [<1-2]		40 [20-50]	
Eau IRSN 2009	Ruisseau du Chapelain	Prélèvement au droit du site, avant la confluence du ruisseau du Chapelain et du ruisseau qui s'écoule au sud du site (IRSN 2009, [7])	7,6	202	0,87± 0,03		7,9 ± 3,3	
PRT CHA		Prélèvement en aval du site, après la confluence du ruisseau du Chapelain et du ruisseau qui s'écoule au sud du site (Areva Mines 2011, [2])	6,6	196	1,8		30	
		Prélèvement en aval du site, après la confluence du ruisseau du Chapelain et du ruisseau qui s'écoule au sud du site (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,6 [6,3-7,1]	185	2 [1-3]		< 30 [<20-40]	
56E_CHA_B2			Prélèvement en aval du site, après la confluence du ruisseau du Chapelain et du ruisseau qui s'écoule au sud du site, en aval du point Areva Mines PRT CHA (IRSN 2015)	6,3	180		1,2 ± 0,1	

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points PRT CHA et PRT RUS dans le cadre de la surveillance 2012-2013 et au point 56E_CHA_B2 sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). Les résultats de mesure de l'IRSN en 2015 dans le ruisseau du Chapelain sont cohérents avec ceux obtenus par Areva Mines et l'IRSN en 2009 dans ce ruisseau (cf. Tableau 25).

En revanche, les teneurs en uranium (uranium total et uranium 238) et les activités en radium 226 mesurées dans le ruisseau s'écoulant au sud du site en 2011 au point PRT RUS par Areva Mines et en 2015 par l'IRSN au point 56E_PRT_RUB sont supérieures à celles obtenues dans le cadre de la surveillance 2012-2013 au même point (de l'ordre de 47 fois pour l'uranium et 4 fois pour le radium pour les mesures réalisées par l'IRSN en 2015) et révèlent un marquage des eaux en uranium 238 et en radium 226. Ce marquage n'est cependant plus perceptible après la confluence avec le ruisseau du Chapelain. La variabilité des teneurs observées dans le ruisseau (à partir des résultats Areva Mines et IRSN) s'écoulant au sud du site pourrait s'expliquer par la présence de rejets diffus du site vers ce ruisseau. En effet, ce ruisseau longe la MCO qui a été comblée et réaménagée avec des stériles miniers ; en cas de fortes pluies (ce qui était le cas lors des contrôles de second niveau) la lixiviation des stériles en place pourrait entraîner un marquage ponctuel de ce ruisseau.

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Aucun prélèvement de sédiments n'a été effectué par Areva Mines et l'IRSN dans l'environnement du site.

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Areva Mines n'a pas procédé à des prélèvements de sols dans l'environnement du site. L'IRSN a réalisé, en 2009 (cf. Figure 39), un prélèvement de sol sur le talus situé en bordure de route présentant une radiamétrie comprise entre 350 et 1 250 c/s (cf. Tableau 24).

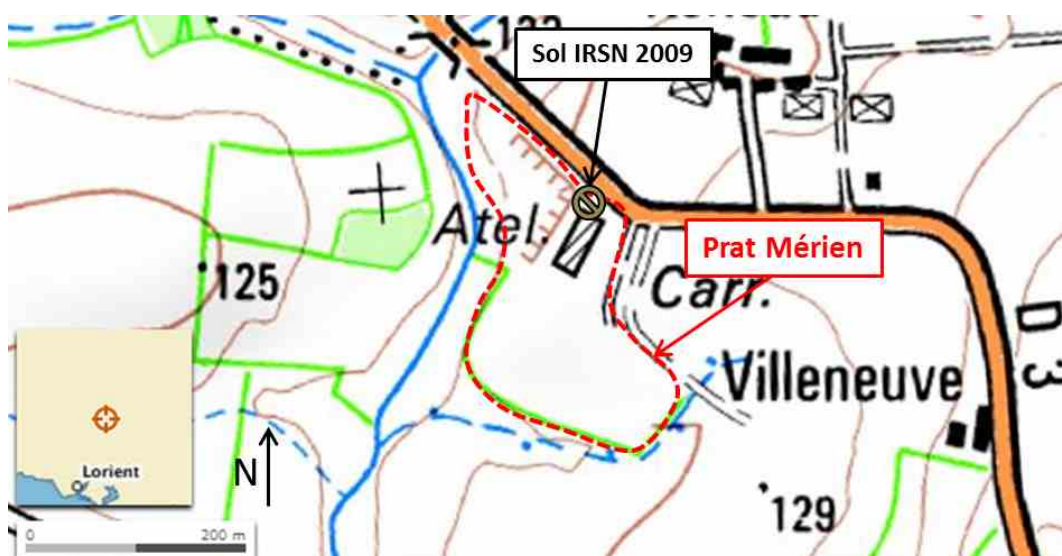


Figure 41 : Localisation du point de prélèvements de sols effectués par l'IRSN en 2009 sur le site de Prat Mérien (sur fond Géoportail ©IGN [4], donnée IRSN [7])

Les résultats d'analyse de ce sol sont présentés dans le Tableau 26. L'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 26 : Résultats de l'analyse du sol prélevé par l'IRSN sur le site de Prat Mérien en 2009 [7]

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*	
		$^{234\text{m}}\text{Pa}$	(^{214}Pb + ^{214}Bi)/2
Sols IRSN 2009	Prélèvement au niveau d'un talus localisé le long de la route D3, au niveau d'une zone présentant un débit de dose de 1070 nSv/h (IRSN 2009, [7])	9 800 ± 1 100	10 700 ± 800

*exprimée en masse sèche

Les résultats des mesures de l'échantillon prélevé en 2009 indiquent des activités en uranium 238 et en radium 226 supérieures d'un facteur 50 à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (cf. Annexe 2). Aucun déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra n'est mis en évidence. Le sol prélevé avait été identifié par l'IRSN en 2009 comme des stériles miniers laissés sur place suite à l'exploitation du site [7]. Lors de la visite de l'IRSN en 2015, l'IRSN a constaté que ces stériles étaient toujours en place.

**Annexe 5: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques
et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers
du Morbihan : Site de Poulprio**

Site de Poulprio

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	Keryacunff, Ty Gallen et Galhaut
Département	Morbihan (56)		
Commune	Bubry		
Cadastre	Propriété non Areva Mines : Commune de Bubry, section ZA01 parcelles 11 et 50. Propriété Areva Mines : Commune de Bubry, section ZA01 parcelles 10, 13, 100 et 101 (cf. Figure 43)		
Propriété	Areva Mines et Privée		
Surface du site	0 ha 90 a		

Source principale : Areva Mines [2]

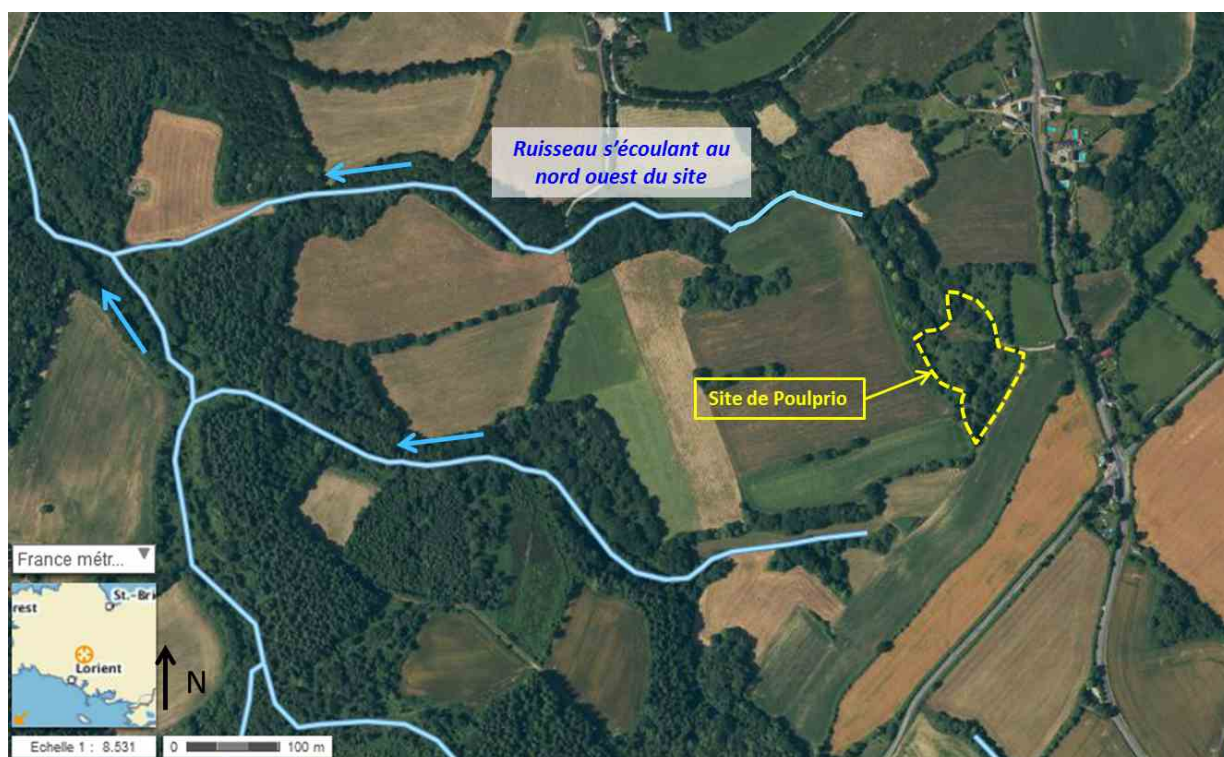


Figure 42 : Vue aérienne du site de Poulprio, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers Souterrains (TMS) : ils comprenaient une descenderie, un montage et des galeries réparties sur trois niveaux (N-5, N-30 et N-45).
Période d'exploitation	1980 à 1984
Production d'uranium [T]	15,239
Lieu de traitement du minéral	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	<p>-TMS : le montage a été entièrement comblé et l'entrée de la descenderie a été remblayée et remodelée afin de suivre le terrain naturel. Un tumulus de 1,8 m de diamètre sur 0,8 m de hauteur a été mis en place sur le montage.</p> <p>-Installation de surface : le bassin de décantation des eaux d'exhaure, localisé au nord du site, a été nettoyé et remblayé. Deux poteaux électriques implantés sur l'ancien carreau ont été enlevés.</p> <p>En 1998 et 1999 un affaissement localisé au sud du site a été remblayé.</p> <p>En 2011, l'ancien carreau minier du site a été débroussaillé sur toute sa surface.</p>
Fin des réaménagements	1993, 1998-1999 et 2011
Servitudes	/
Autres	Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure étaient dirigées vers le bassin de décantation puis rejetées dans l'environnement

Source principale : Areva Mines [2]

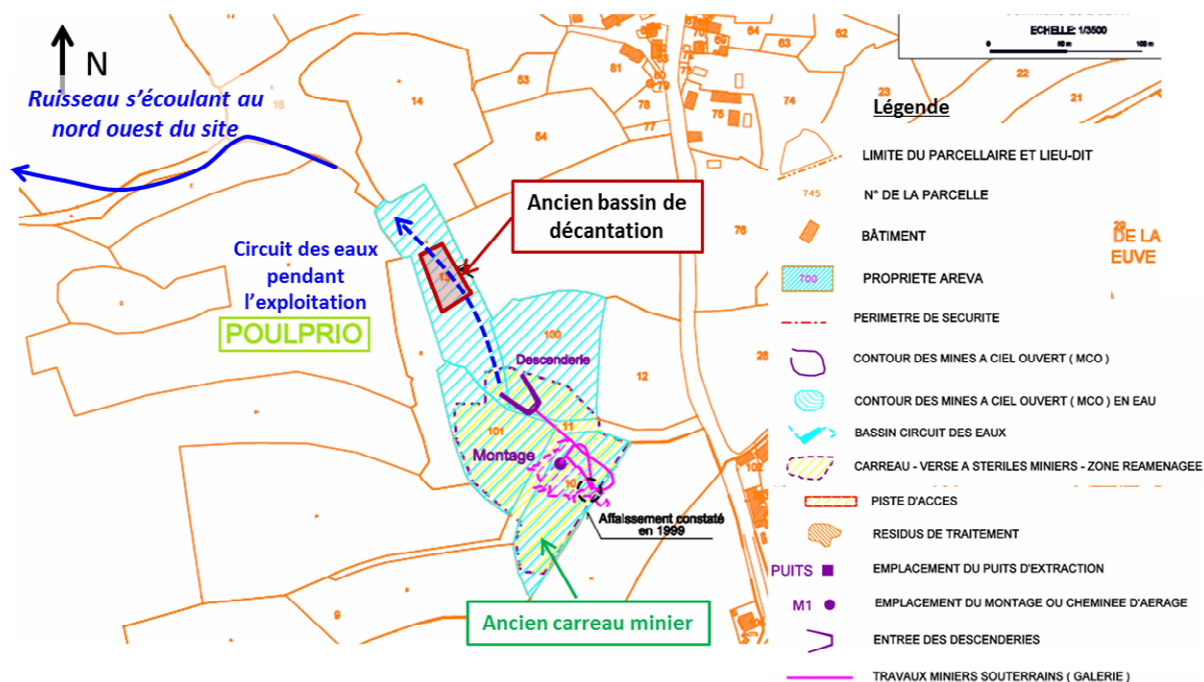


Figure 43 : Situation des travaux miniers du site de Poulprio sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Poulprio est localisé à 5,2 km au nord-ouest de Bubry (cf. Figure 44). Un ruisseau prend sa source au nord-ouest du site. Ce dernier est un affluent du ruisseau de Goah Mout qui est lui-même un affluent du ruisseau du Chapelain (cf. Figure 44). Le ruisseau du Chapelain rejoint le Scorff, 2 km à l'ouest de sa confluence avec le ruisseau de Goah Mout. Un ruisseau s'écoule également au sud, ce dernier ne draine *a priori* pas le site.

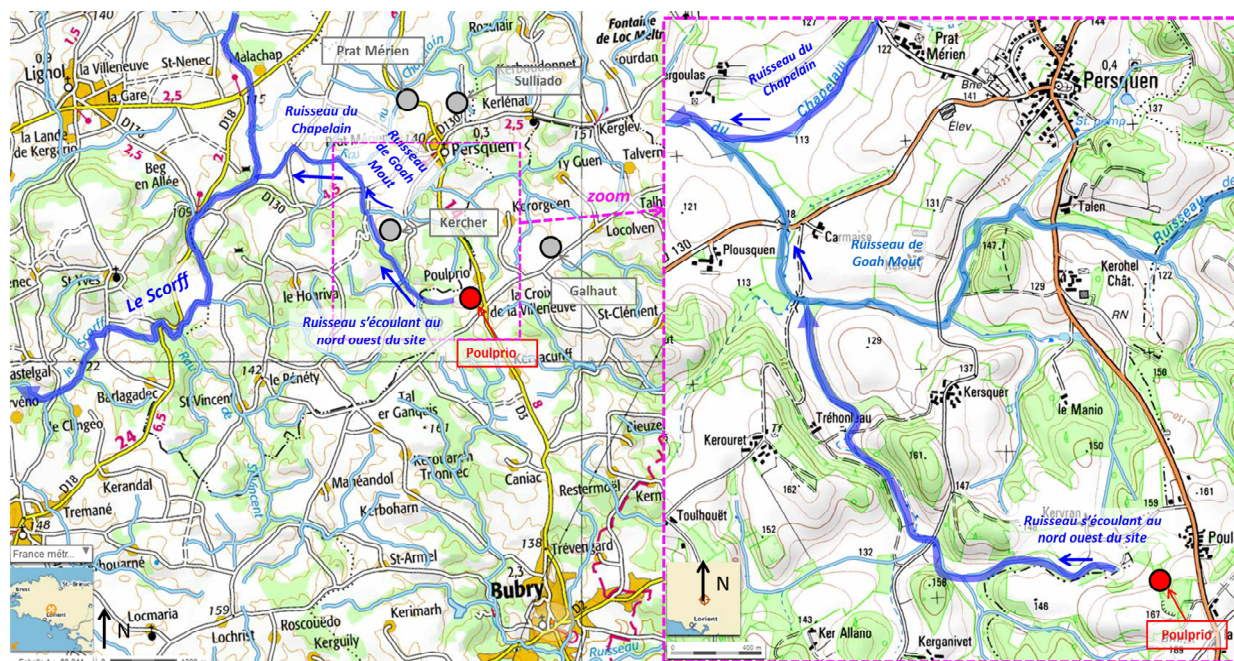


Figure 44 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Poulprio ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
17 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<p>Sur site : Effectuer des mesures radiométriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements au niveau de l'ancien bassin de décantation</p> <p>Champ proche : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site</p>	
Personnes présentes	
Une adjointe à la Mairie de Bubry	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Montage	X = 239 026 ; Y = 6 785 681
Descenderie	X = 239 006 ; Y = 6 785 724

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le carreau minier se situe sur des parcelles appartenant à Areva Mines dont l'accès se fait librement via un chemin de terre (cf. Figure 45). Les parcelles 10 et 100 où sont localisés le montage et la descenderie ont été défrichées ; elles présentaient, en 2015, une végétation de type prairie (cf. Figure 43 et Figure 45). Ces deux parcelles sont accessibles, ce qui n'était pas le cas lors de la visite de l'IRSN en 2009 [7].

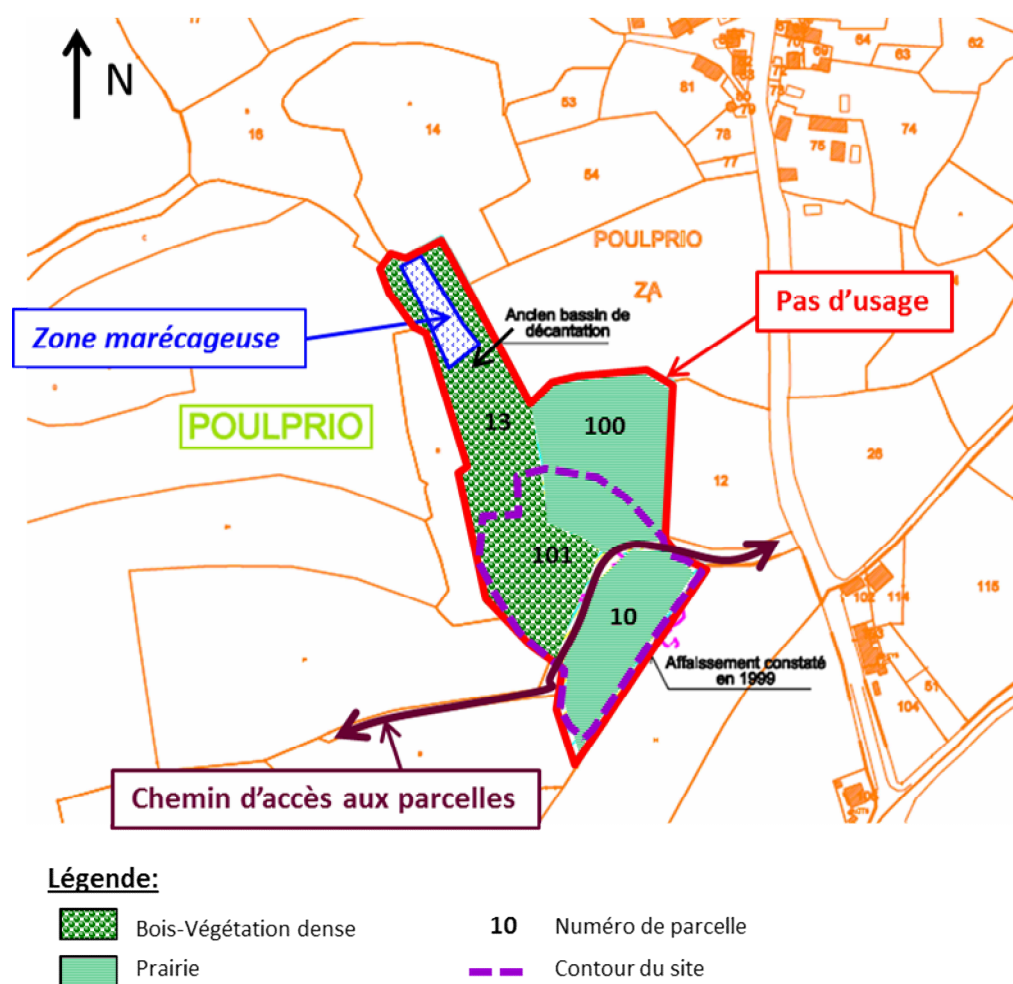


Figure 45 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site de Poulprio en 2015 (sur plan cadastral [2])

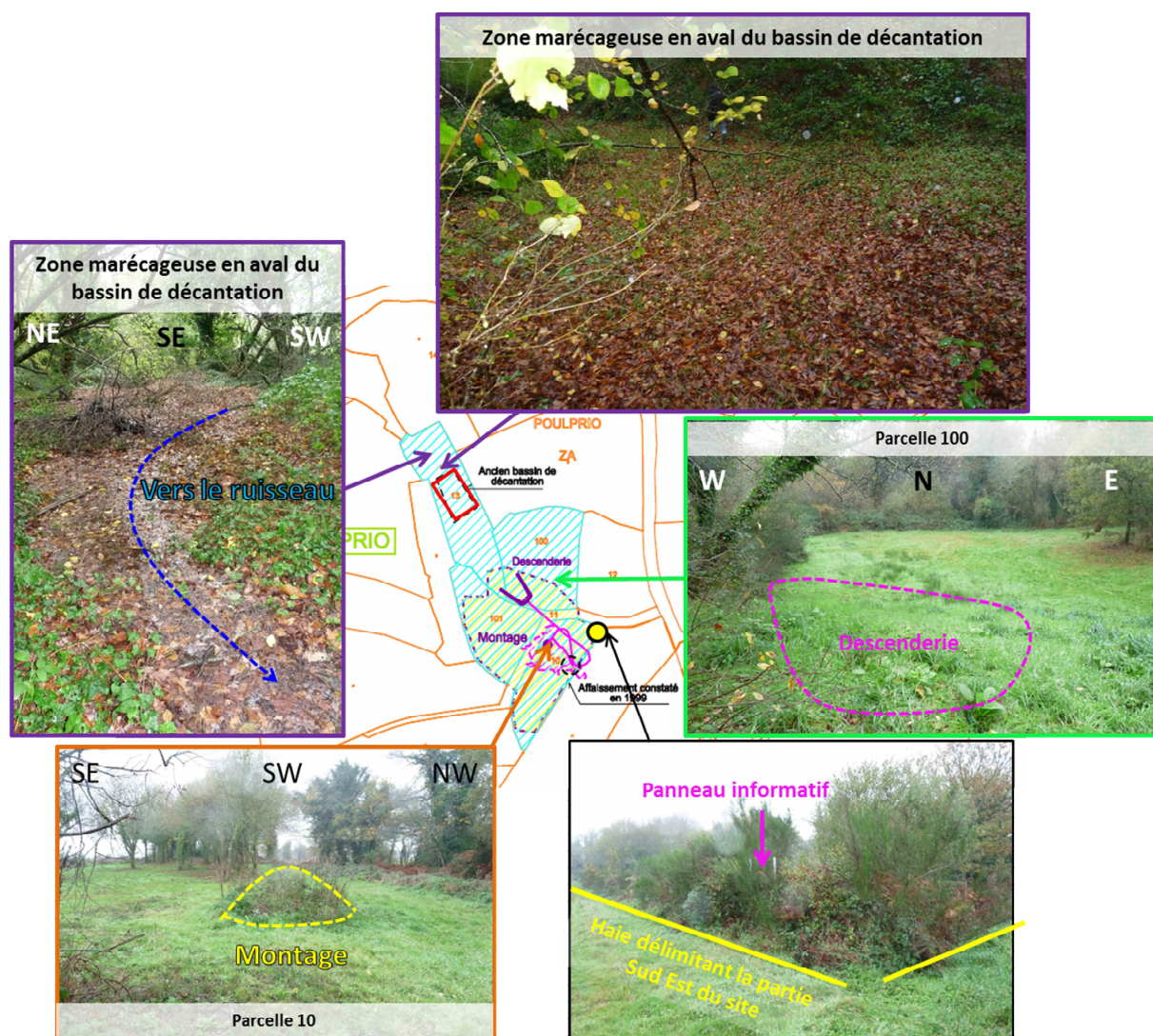


Figure 46 : Photographies du site de Poulprio (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)

Les terrains localisés sur la parcelle 13 et une partie de la parcelle 101 sont envahis par la végétation (cf. Figure 45). Les terrains localisés en aval du bassin de décantation forment une zone marécageuse (cf. Figure 46). Un panneau à l'entrée de la parcelle 10 expliquant l'histoire de la mine de Poulprio a été vandalisé (cf. Figure 46). L'ensemble des terrains situés sur les parcelles qui sont propriété d'Areva Mines n'ont pas d'usage particulier. Les terrains autour du site ont, quant à eux, un usage agricole et un chemin d'accès à ces différentes parcelles traverse le site (cf. Figure 45).

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiométriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiométriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre de la réalisation du BE sur le site de Poulprio au niveau du chemin d'accès au site, de l'ancien carreau minier (montage et descenderie) et de

l'ancien bassin de décantation (cf. Tableau 27) [2]. Ces mesures ont été complétées, en 2012, par la réalisation d'un plan compteur (cf. Figure 47).

Tableau 27 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Poulprio [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Descenderie	250-650
Montage	250-400
Talweg en aval du site (bassin de décantation)	700-1860
Piste d'accès	130-180

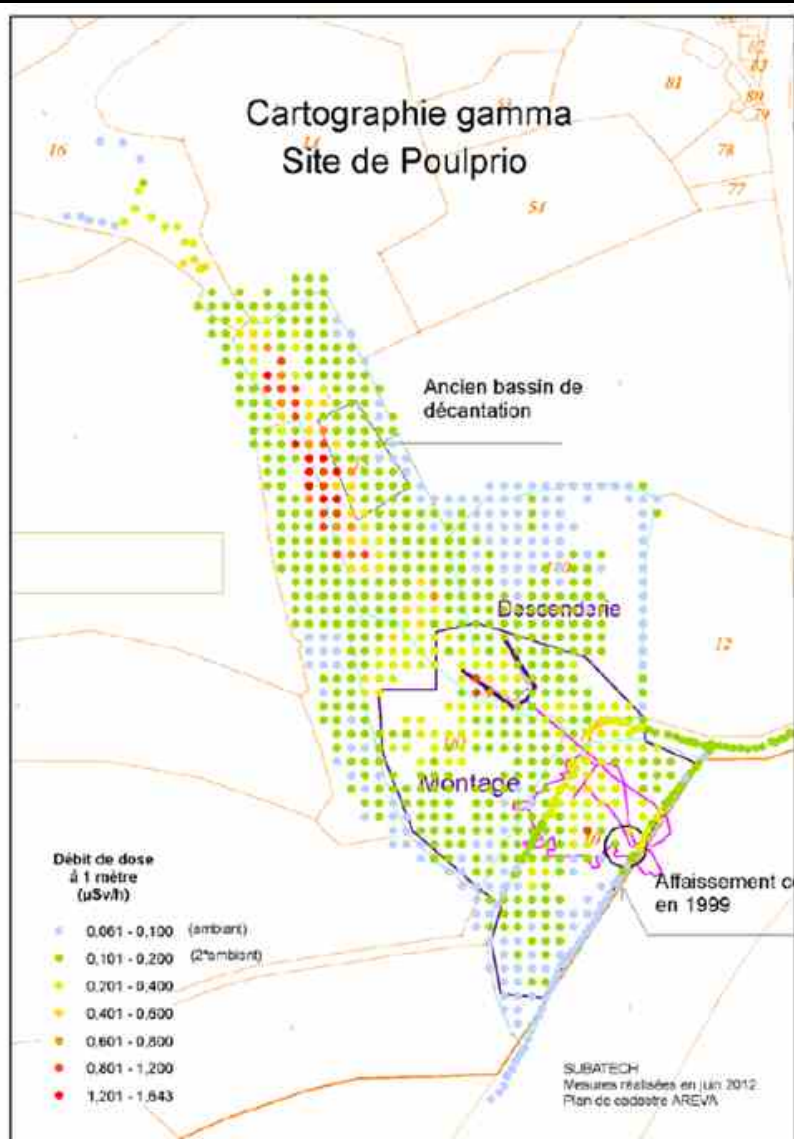


Figure 47 : Plan compteur du site Poulprio et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31]

Les mesures radiamétriques effectuées sur le site (montage, descenderie) sont de l'ordre de 2 à 5 fois le bruit de fond naturel avec, très localement, 10 fois le bruit de fond naturel au niveau du montage et de la descenderie. Les valeurs relevées au niveau de l'ancien bassin de décantation ainsi que dans la zone marécageuse localisée en aval de ce dernier peuvent atteindre des valeurs égales à plus de 10 fois le bruit de fond naturel.

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées sur l'ensemble du site de Poulprio à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 48 et Figure 49). Une partie du site étant envahie de bois, de ronces et d'arbustes, les mesures n'ont pu être réalisées de manière systématique qu'au niveau du carreau minier, seule zone facilement accessible. Par ailleurs le secteur de la zone marécageuse en aval de l'ancien bassin de décantation était difficile d'accès (terrain mouvant et boueux), il n'a pu être couvert dans sa totalité par la mesure de débit de dose.

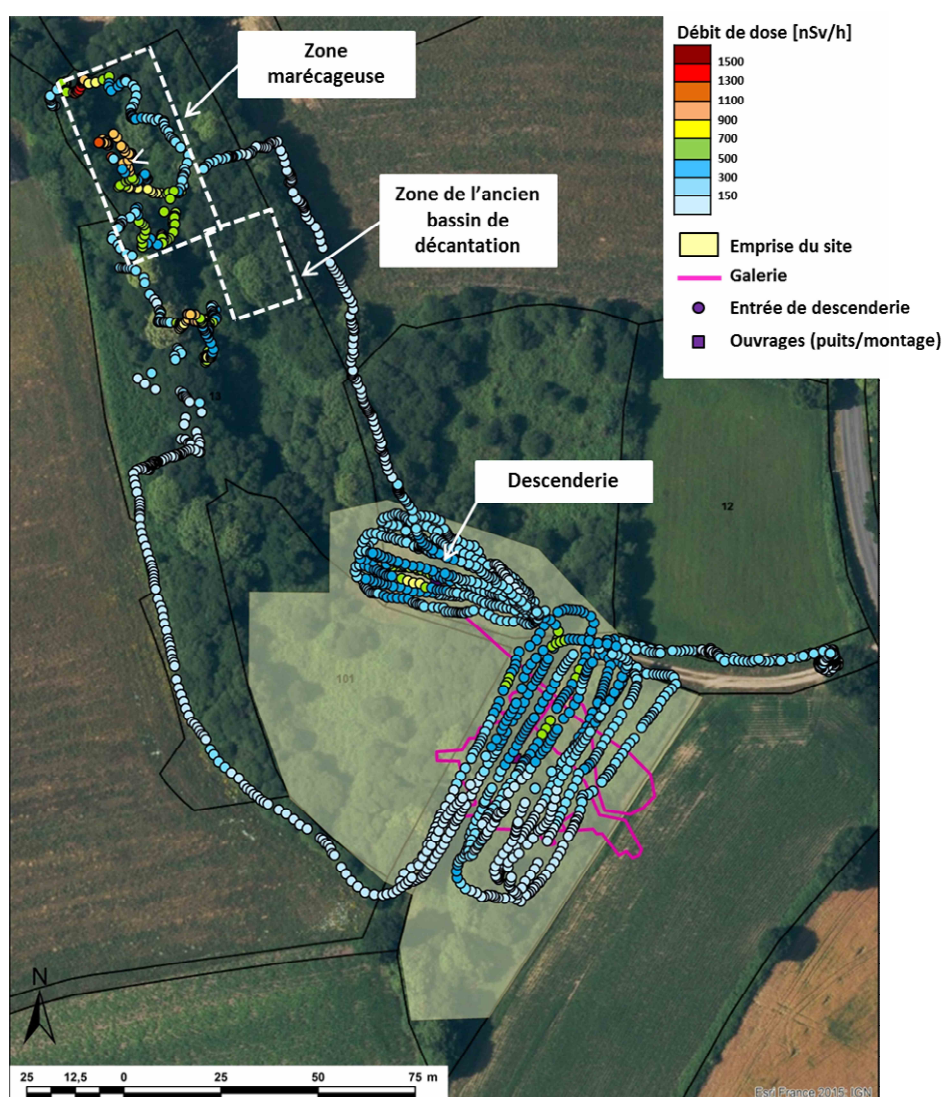


Figure 48 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site de Poulprio avec l'outil MARCASSIN : Vue générale (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

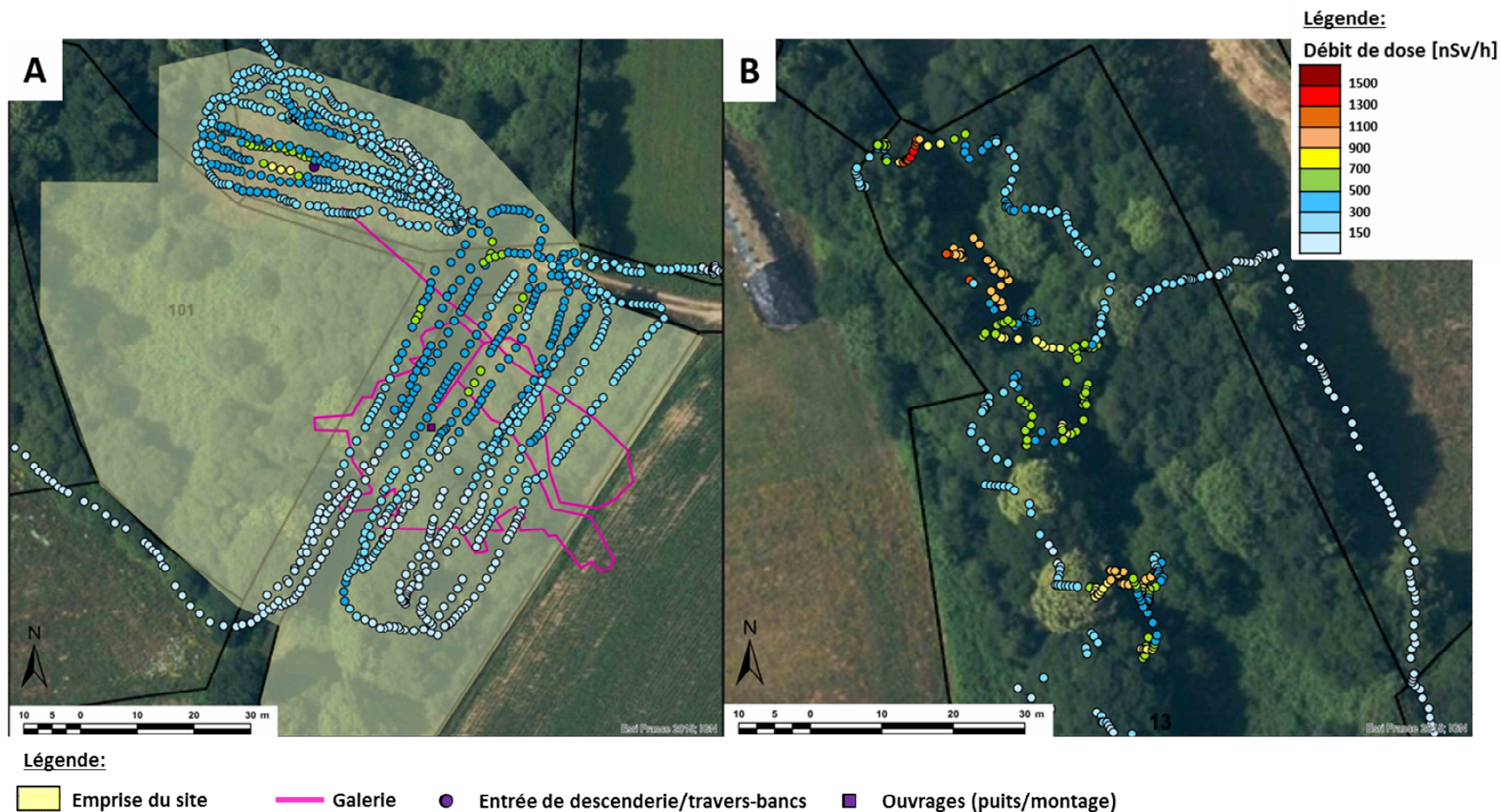


Figure 49 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site de Poulprio avec l'outil MARCASSIN : A-Zoom sur les travaux miniers (descenderie, montage), B-Zoom sur la zone marécageuse et l'ancien bassin de décantation (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

Les mesures révèlent des valeurs de l'ordre de 1 à 3 fois le bruit de fond naturel au niveau de l'ancien carreau minier avec quelques zones de faible étendue ($\approx 10 \text{ m}^2$) présentant des débits de dose ponctuellement plus élevés comme par exemple au niveau de la descenderie (débit de dose compris entre 500 et 875 nSv/h). Les valeurs les plus élevées sont mesurées au niveau de la zone marécageuse avec des débits de dose qui peuvent être supérieurs à 10 fois le bruit de fond naturel. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines (cf. Tableau 27 et Figure 47).

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à des prélèvements d'eau dans le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site (Echantillon POP RUB cf. Figure 50) [2, 12]. Le lieu des prélèvements est localisé en aval immédiat de la zone marécageuse.

Dans le cadre des contrôles de second niveau, deux prélèvements d'eau ont été effectués par l'IRSN en 2015 dans l'environnement du site de Poulprio (cf. Figure 50 et Figure 51) :

- un prélèvement au niveau de la zone marécageuse, dans un écoulement drainant le nord de la parcelle 13 et rejoignant le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site (Echantillon 56E_POP_RUB1) ;
- un prélèvement dans le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site, en aval éloigné du site au niveau d'une zone humide (Echantillon 56E_POP_RUB2).

Par ailleurs, lors de la visite de l'IRSN en août 2009, un prélèvement d'eau a été effectué dans le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest, une centaine de mètres en aval du point Areva Mines POP RUB (cf. Figure 50) [7].

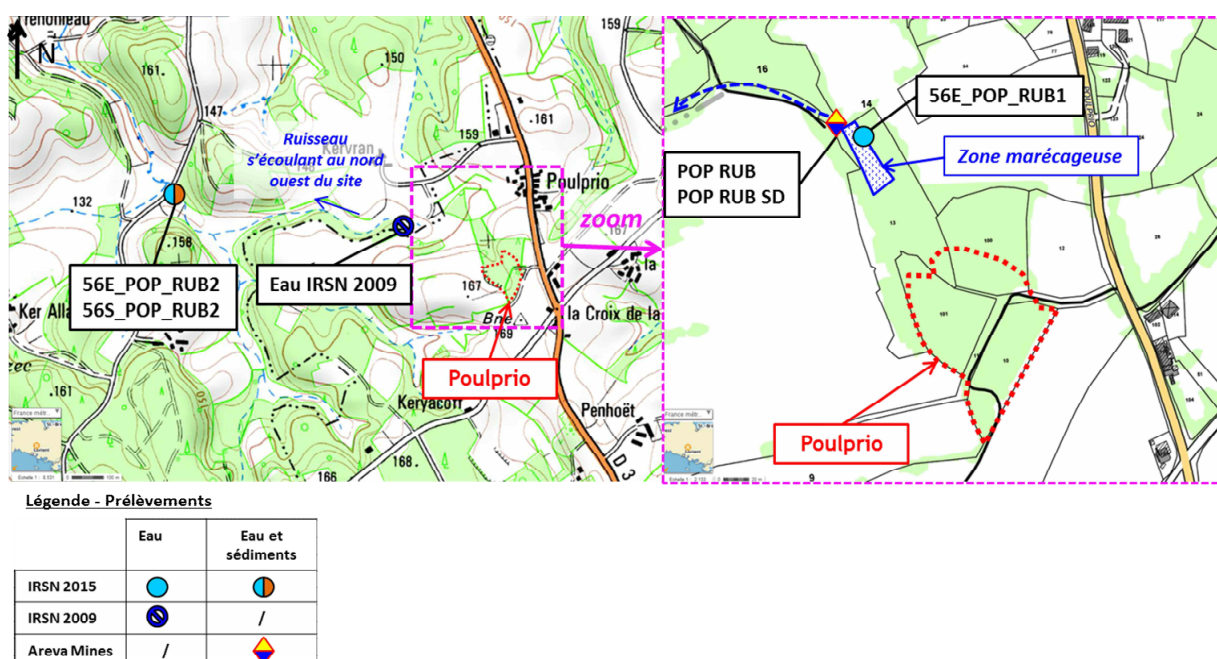


Figure 50 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Poulprio (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])

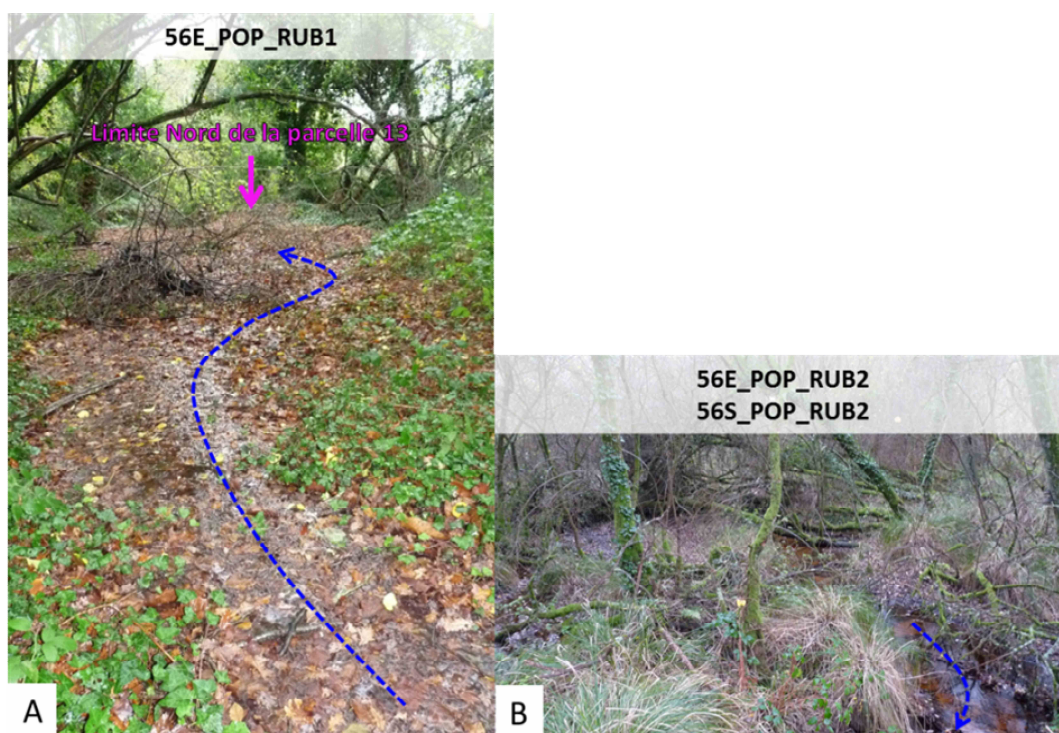


Figure 51 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments IRSN, A- Ecoulement drainant la parcelle 13 (Echantillon 56E_POP_RUB1), B - Ruisseau en aval de Poulprio (56E_POP_RUB2 et 56S_POP_RUB2, photographies ©IRSN).

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 28.

Tableau 28 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Poulprio

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [$\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$]
56E_POP_RUB1	Zone marécageuse	Prélèvement en aval hydraulique du site, dans la zone marécageuse, en amont du point de prélèvement Areva Mines POP RUB (IRSN 2015)	nm	nm		$2\,025 \pm 205$		$50\,900 \pm 14\,000$
POP RUB	Ruisseau s'écoulant au nord-ouest du site de Poulprio	Prélèvement en aval hydraulique du site, en aval immédiat de la zone marécageuse (Areva Mines 2011, [2])	6,9	184	5,00		190	
		Prélèvement en aval hydraulique du site, en aval immédiat de la zone marécageuse (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,8 [6,6-6,9]	196	5,00 [4-6]		140 [120-160]	
Eau IRSN 2009		Prélèvement en aval hydraulique du site, après la zone marécageuse et du point de prélèvement Areva Mines POP RUB (IRSN 2009, [7])	7,5	177	$1,15 \pm 0,03$		28 ± 9	
56E_POP_RUB2		Prélèvement en aval éloigné du site au niveau d'une zone humide (IRSN 2015)	6,1	126		$1,3 \pm 0,1$		25 ± 9

Avec nm = non mesuré du fait de la configuration de l'écoulement

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées dans la zone marécageuse (Echantillon 56E_POP_RUB1) sont supérieures de plus de 3 ordres de grandeur à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). Les teneurs en uranium 238 et les activités en radium 226 mesurées par Areva Mines en sortie de la zone marécageuse au point POP RUB sont également supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière (en particulier pour le radium 226) mais sont plus faibles que celles mesurées par l'IRSN dans la zone marécageuse. En revanche, les teneurs mesurées en aval et notamment au point 56E_POP_RUB2 (et au point prélevé par l'IRSN en 2009, [7]), sont du même ordre de grandeur que celles retenues pour le bruit de fond.

La différence entre les résultats de l'IRSN et ceux d'Areva Mines pour les échantillons 56E_POP_RUB1 et POP RUB respectivement, peut s'expliquer par la localisation du point de prélèvement de l'IRSN qui est situé dans la zone marécageuse légèrement en amont du point de prélèvement Areva Mines et/ou par la fraction analysée. En effet les analyses radiologiques réalisées par l'IRSN ont été effectuées sur la fraction totale (fraction dissoute + particulaire) alors qu'Areva Mines a réalisé ses analyses uniquement sur la fraction dissoute. La fraction particulaire peut contenir des particules sur lesquelles s'adsorbent les radionucléides, ce qui peut expliquer les différences observées.

Eléments d'analyse :

Le rapport Geoarmor⁶ indique d'une part que le piézomètre aménagé sur le site de Poulprio présente une activité en radium 226 de $70 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$ et une concentration en uranium de $1,6 \pm 0,01 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ et d'autre part que des sources qui alimentent les ruisseaux en aval du site constituent des émergences de la nappe drainant le site [31, 32]. Ces dernières présentent des teneurs en uranium et des activités en radium 226 de l'ordre de celles observées dans le milieu naturel hors influence minière (Source P-S2, U= $1,5 \pm 0,01 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ et $^{226}\text{Ra} = 10 \pm 10 \text{ mBq.L}^{-1}$, [31, 32]). Ces valeurs sont bien inférieures à celles observées sur le site dans la zone marécageuse et ne peuvent expliquer les valeurs obtenues en sortie de la zone marécageuse par une émergence d'eau souterraine marquée en radionucléides.

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Areva Mines a procédé en 2011 dans le cadre du BE à un prélèvement de sédiments dans le ruisseau qui s'écoule au nord-ouest du site et en aval immédiat de la zone marécageuse (Echantillon POP RUB SD, cf. Figure 50). Un prélèvement de sédiments a également été effectué dans l'environnement du site par l'IRSN en 2015 au niveau d'une zone humide en aval éloigné du site (Echantillon 56S_POP_RUB2, cf. Figure 50 et Figure 51). Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 29. Pour l'échantillon prélevé par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

⁶ Le rapport Géoarmor fait partie des études complémentaires réalisées par Areva Mines dans le cadre du Bilan Environnemental.

Tableau 29 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés aux abords du site de Poulprio

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
		²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
POP RUB SD	Prélèvement en aval hydraulique du site, en aval immédiat de la zone marécageuse (prélèvement Areva Mines de 2011, [2])	9 160		13 800		
56S_POP_RUB2	Prélèvement en aval éloigné du site, au niveau d'une zone humide (prélèvement IRSN 2015)		< 120		400 ± 60	400 ± 60

*exprimée en masse sèche

Les résultats des mesures réalisées sur l'échantillon POP RUB SD, prélevé en aval immédiat de la zone marécageuse, indiquent des activités massiques supérieures (45 fois pour l'²³⁸U et 69 fois le ²²⁶Ra) à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (cf. Annexe 2) ainsi qu'un déséquilibre entre l'²³⁸U et le ²²⁶Ra en faveur du ²²⁶Ra (rapport ²²⁶Ra/²³⁸U = 1,5). Les résultats de mesures de l'échantillon 56S_POP_RUB2 révèlent une activité massique pour le radium 226 également supérieure, d'environ un facteur 2, à celle généralement observée dans le milieu naturel hors influence minière (cf. Annexe 2). L'activité massique de l'uranium 238 est de l'ordre des activités massiques généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière. Un déséquilibre entre l'²³⁸U et le ²²⁶Ra en faveur du ²²⁶Ra est donc également mis en évidence dans cet échantillon (rapport ²²⁶Ra/²³⁸U = 3,3). Ces résultats sont cohérents avec ceux d'Areva Mines qui révèlent un marquage des sédiments en sortie de la zone marécageuse ainsi qu'un déséquilibre en faveur du radium 226 en aval du site de Poulprio (cf. Tableau 29).

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Areva Mines a réalisé en 2012 des prélèvements de sols dans l'environnement proche du site de Poulprio au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (cf. Figure 52, [31]) :

- deux prélèvements (Echantillons PC11 et PC12) à deux profondeurs différentes (8-20 cm et 20-50 cm) au niveau d'une zone marquée (débit de dose comprise entre 200 et 600 nSv/h) localisée sur la parcelle 16 au nord du site ;
- un prélèvement (à 10-60 cm) au niveau de la zone marécageuse qui s'est formée à l'emplacement de l'ancien bassin de décantation (Echantillon PC21).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, des prélèvements de sols ont été effectués par l'IRSN en 2015 en environnement proche du site de Poulprio (cf. Figure 52) :

- au niveau d'une zone présentant un débit de dose de 600 nSv/h, localisée entre la descenderie et l'ancien bassin de décantation (Echantillon 56S_POP_T1) ;
- au niveau de la zone marécageuse (56S_POP_T2) à proximité de l'échantillon Areva Mines PC21.

Chaque prélèvement a été subdivisé en deux échantillons (cf. Figure 53) :

- l'échantillon A correspondant à la couche supérieure, de couleur noire, de quelques centimètres d'épaisseur ;
- l'échantillon B correspondant à du sol de couleur beige/ocre (prélevé sur une vingtaine de centimètre).

Au moment du prélèvement, la zone marécageuse était très boueuse alors que la zone de prélèvement de l'échantillon 56S_POP_T1 était sèche.

Par ailleurs, un sol avait été prélevé par l'IRSN en 2009 au niveau de l'ancien carreau minier au niveau d'une zone avec un débit de dose de 1 100 nSv/h.

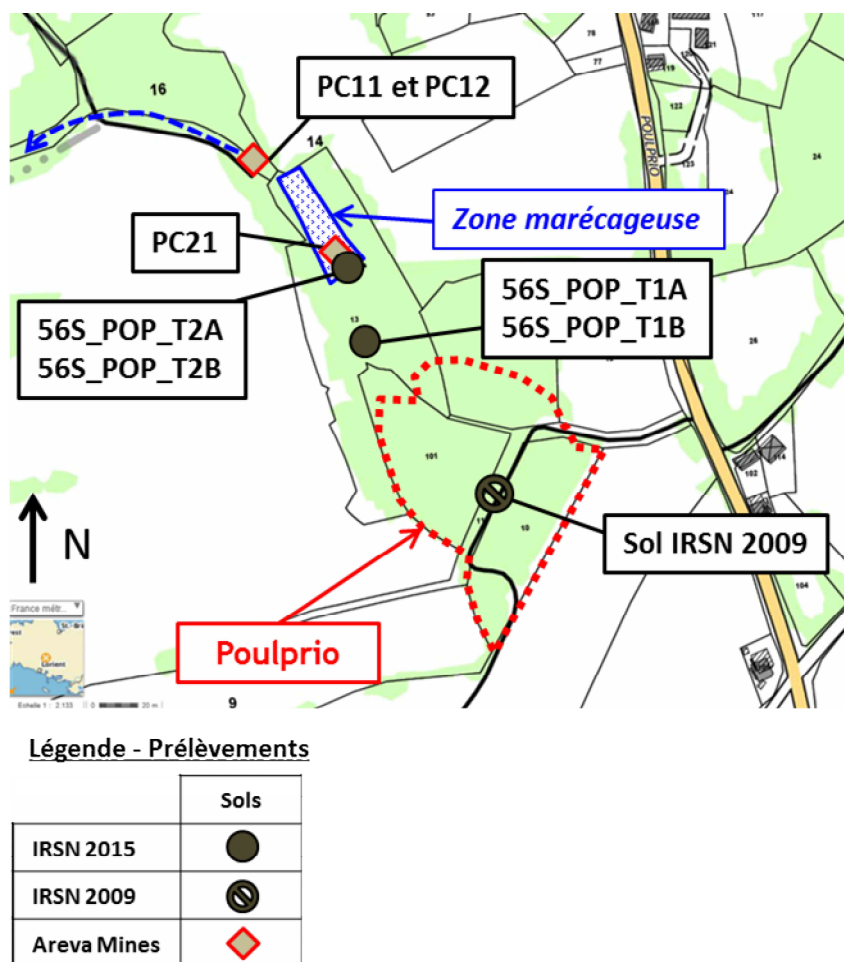


Figure 52 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Poulprio (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN [7])

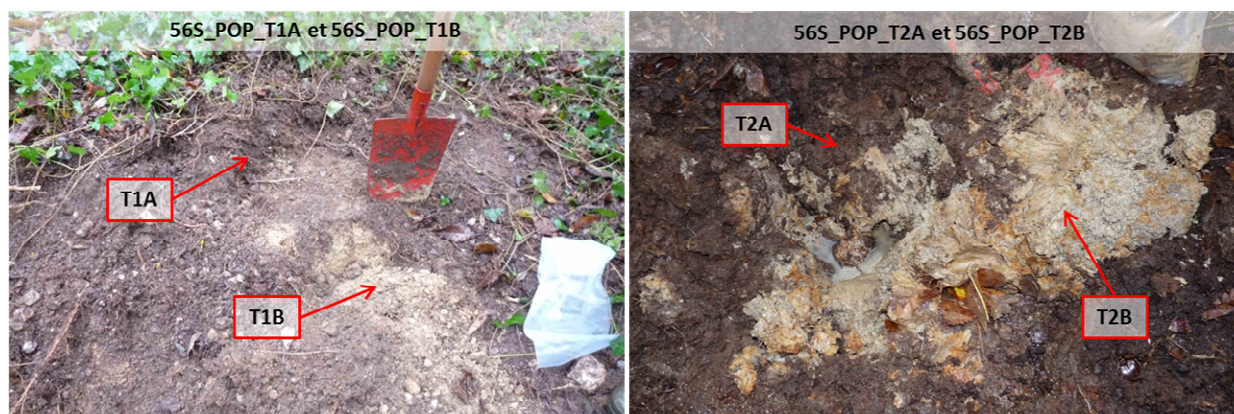


Figure 53 : Photographies des points de prélèvement des échantillons 56S_POP_T1A, 56S_POP_T1B, 56S_POP_T2A et 56S_POP_T2B (photographies ©IRSN)

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sols sont présentés au Tableau 30 et à la Figure 54. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 30 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sols prélevés sur le site de Poulprio et en champ proche

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
		²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
56S_POP_T1A	Prélèvement de la couche supérieure (couche noire, sur quelques centimètres) au niveau d'une zone localisée entre la descenderie et l'ancien bassin de décantation avec un débit de dose au contact de 600 nSv/h (IRSN 2015)		3 100 ± 600		2 630 ± 400	2 650 ± 380
56S_POP_T1B	Prélèvement de la couche inférieure (couche beige/ocre, sur une vingtaine de centimètres) au niveau d'une zone localisée entre la descenderie et l'ancien bassin de décantation avec un débit de dose au contact de 600 nSv/h (IRSN 2015)		3 300 ± 700		3 110 ± 470	3 130 ± 450
PC21	Prélèvement dans la zone marécageuse à 10-60 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	2 900 ± 1 262		2 195 ± 636		
56S_POP_T2A	Prélèvement de la couche supérieure (couche noire, sur quelques centimètres) dans la zone marécageuse avec un débit de dose au contact de 1300 nSv/h (IRSN 2015)		34 100 ± 4 900		24 300 ± 3 700	24 500 ± 3 500
56S_POP_T2B	Prélèvement de la couche inférieure (couche beige/ocre, sur une vingtaine de centimètres) avec un débit de dose au contact de 1300 nSv/h (IRSN 2015)		11 200 ± 1 700		9 000 ± 1 400	9 000 ± 1 300
PC11	Prélèvement au niveau d'une zone marquée (débit de dose compris entre 200 et 600 nSv/h) localisée sur la parcelle 16 en sortie de la zone marécageuse à 8-20 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	7 816 ± 3 380		8 492 ± 1 681		
PC12	Prélèvement au niveau d'une zone marquée (débit de dose compris entre 200 et 600 nSv/h) localisée sur la parcelle 16 en sortie de la zone marécageuse à 20-50 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	65 ± 39		115 ± 47		
Sols IRSN 2009	Prélèvement au niveau de l'ancien carreau minier au niveau d'une zone présentant un débit de dose de 1100 nSv/h (IRSN 2009, [7])		3 880 ± 580		$(^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi})/2 = 3\,500 \pm 250$	

*exprimée en masse sèche

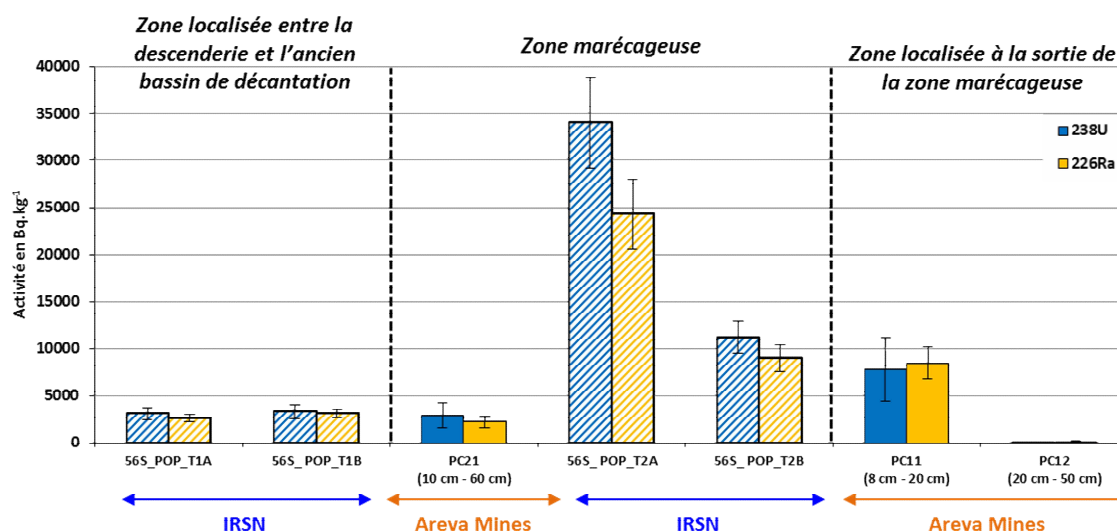


Figure 54 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012 et l'IRSN en 2015

Les activités massiques sont globalement supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (plus de 40 fois pour l'²³⁸U et le ²²⁶Ra pour les échantillons PC11 ou

56S_POP_T2A par exemple) sauf pour l'échantillon PC12 dont les activités massiques sont du même ordre de grandeur que celles retenues pour le bruit de fond (cf. Annexe 2).

Par ailleurs, les valeurs des activités massiques varient en fonction de la zone de prélèvement (comme par exemple pour les échantillons 56S_POP_T1 et 56S_POP_T2, cf. Figure 54). A cet égard, les valeurs des activités massiques sont les plus élevées dans la zone marécageuse. De plus, les analyses de l'IRSN et d'Areva Mines révèlent que la zone marécageuse n'est pas la seule à présenter un marquage. Ainsi les terrains localisés entre la descenderie (Echantillon 56S_POP_T1) et l'ancien bassin de décantation ou en aval immédiat de la zone marécageuse (Echantillon PC11) présentent également un marquage. La zone marécageuse, quant à elle, présente des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel sur au moins une cinquantaine de centimètres de profondeur comme semblent l'indiquer les résultats de mesure sur l'échantillon PC21. Ainsi, l'échantillonnage réalisé par Areva Mines au niveau de la zone marécageuse n'a probablement pas atteint la partie du sol qui présente des teneurs naturelles en radionucléides (estimés à 200 Bq.kg⁻¹ pour les radionucléides de la chaîne de l'uranium, cf. Annexe 2). L'ensemble de ces valeurs confirment les informations obtenues notamment par la mesure des débits de dose à savoir un marquage des sols concernés par la circulation des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (cf. § 3.2.1 de la présente annexe).

Le sol prélevé par l'IRSN en 2009 au niveau du chemin longeant le site présente également des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière et un équilibre entre l'²³⁸U et le ²²⁶Ra : cet échantillon avait été considéré par l'IRSN en 2009 comme étant du stérile minier [7].

**Annexe 6: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques
et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers
du Morbihan : Site du Moulin de Brodimon**

Site du Moulin de Brodimon

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	Kerler, Kersegalec et Le Hinger
Département	Morbihan (56)		
Commune	Lignol		
Cadastre	<u>Commune de Lignol</u> : section G04 parcelles 968, 910, 911 et 760 (cf. Figure 56)		
Propriété	Privée		
Surface du site	1 ha		

Source principale : Areva Mines [2]

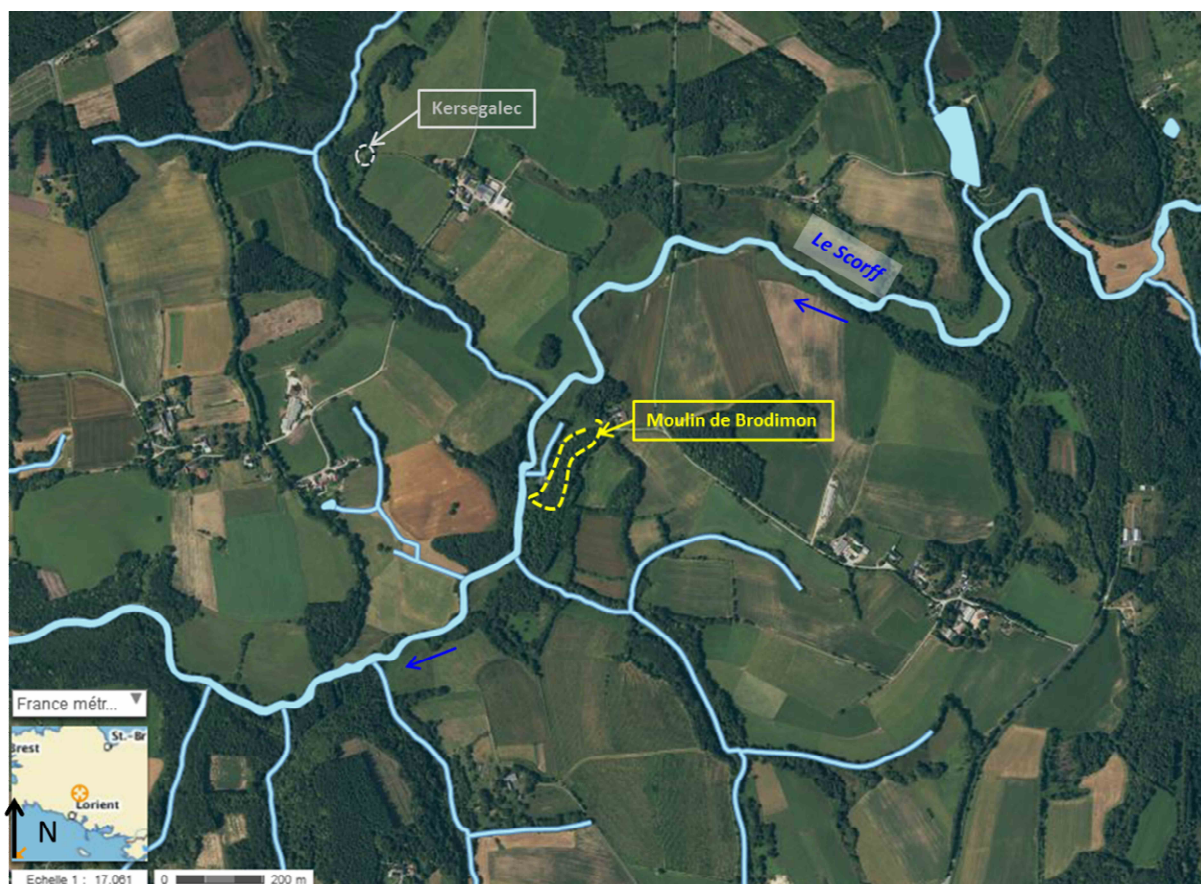


Figure 55 : Vue aérienne du site du Moulin de Brodimon, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERES ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers souterrains (TMS) : ils comprenaient 1 travers-banc (TB1) et une descenderie qui permettaient d'accéder aux trois niveaux de galerie (N-15, N-30 et N-45). Deux Montages (M1 et M2) d'aérage étaient reliés aux quartiers de défilage.
Période d'exploitation	1962 à 1965
Production d'uranium [T]	20,078
Lieu de traitement du minéral	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	- TMS : la descenderie, le travers-banc ainsi que les deux montages ont été remblayés. - Installation de surface : le carreau de la mine a été nettoyé et remodelé en accord avec la topographie environnante. Entre 1996 et 2009 des comblements de fontis miniers ont été réalisés.
Fin des réaménagements	1993
Servitudes	/
Autres	Le site est situé à flanc de coteau entre un ancien moulin, rénové en maison d'habitation, et un champ cultivé.

Source principale : Areva Mines [2]

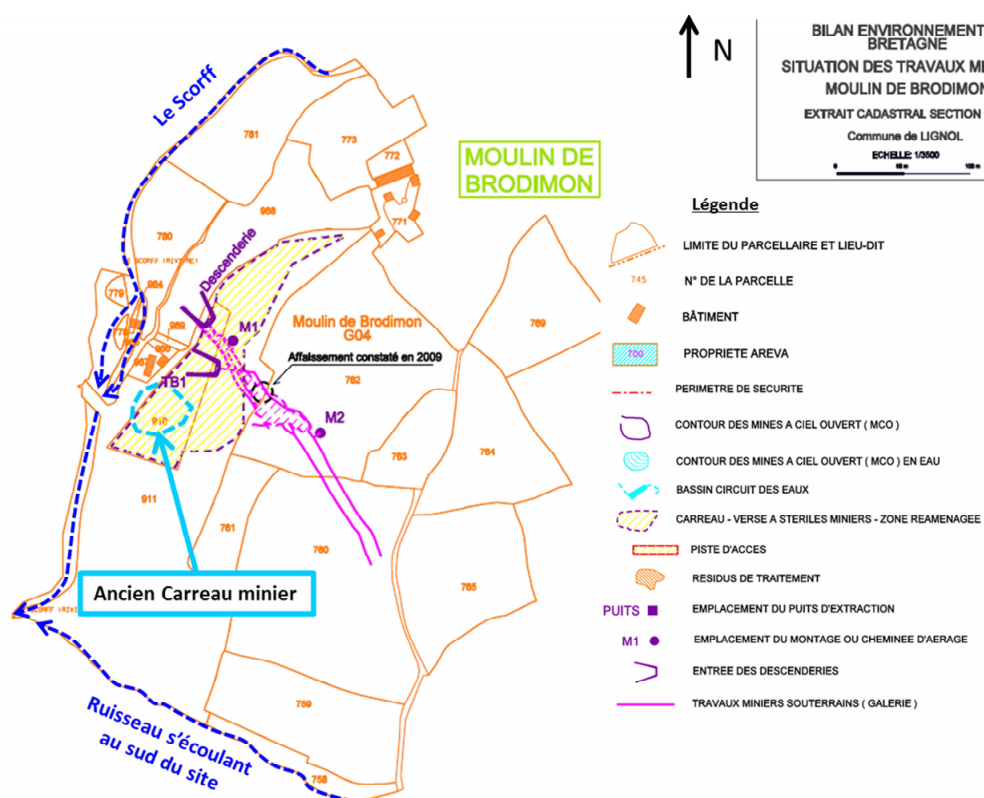


Figure 56 : Situation des travaux miniers du site du Moulin de Brodimon sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site du Moulin de Brodimon est localisé à 4,1 km au sud de Lignol. Le Scorff coule à une dizaine de mètres à l'ouest du site. Un ruisseau affluent du Scorff coule au sud en aval du site (cf. Figure 57).

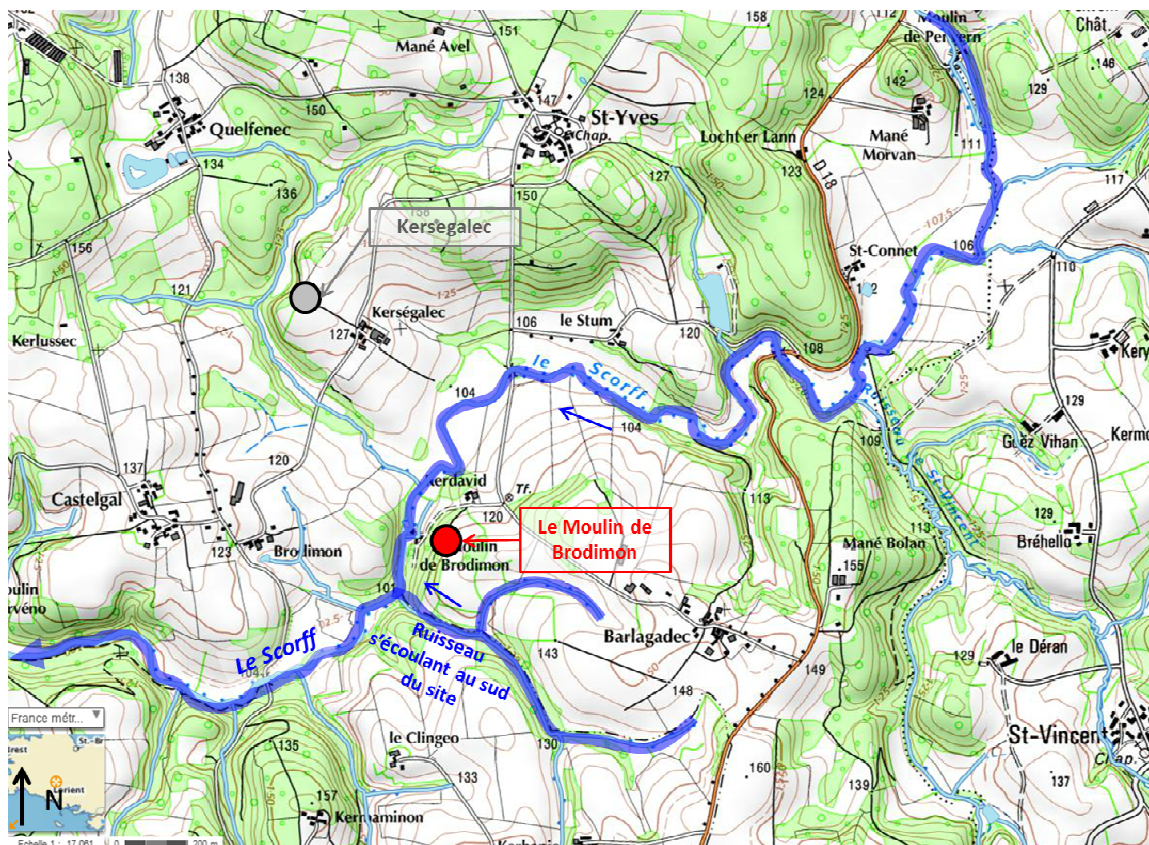


Figure 57: Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier du Moulin de Brodimon ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
19 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<p><u>Sur site</u> : Effectuer des mesures radiométriques, préciser l'usage et l'accès au site</p> <p><u>Champ proche</u> : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site</p>	
Personnes présentes	
/	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Travers banc TB1	X = 232 987 ; Y = 6 785 141

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le site est localisé à flanc de coteau le long du Scorff. La partie nord-ouest du site, où est localisée une partie des travaux miniers (TB1, descenderie, montage M1), est difficilement accessible car fortement boisée mais les terrains ne sont pas clôturés (cf. Figure 58 et Figure 59). Des terrains agricoles sont cultivés à l'aplomb d'une partie des TMS et du montage M2 localisé au sud-est du site (cf. Figure 58 et Figure 59). Un chemin longe la descenderie ainsi que le travers banc et mène à un moulin rénové en maison d'habitation inoccupée lors de la visite de l'IRSN en novembre 2015 (cf. Figure 58 et Figure 59). Le moulin est localisé en face du travers-banc (TB1) qui présente un mur de soutènement (cf. Figure 59). Par ailleurs, les photographies du site réalisées par Areva Mines dans le cadre du BE, révèlent que l'ancien carreau minier et la zone localisée au sud de TB1 peuvent être utilisés en tant qu'aire de stationnement, en particulier lorsque le moulin est habité (cf. Figure 59).

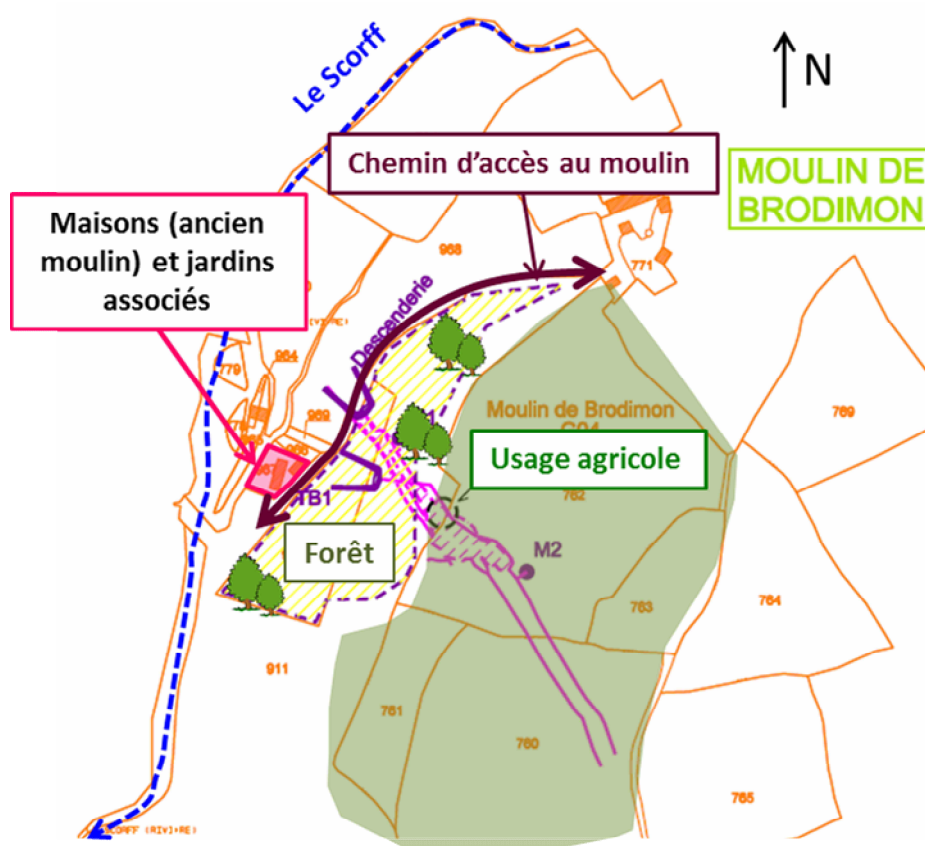


Figure 58 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site du Moulin de Brodimon en 2015 (localisation des usages sur plan cadastral [2])

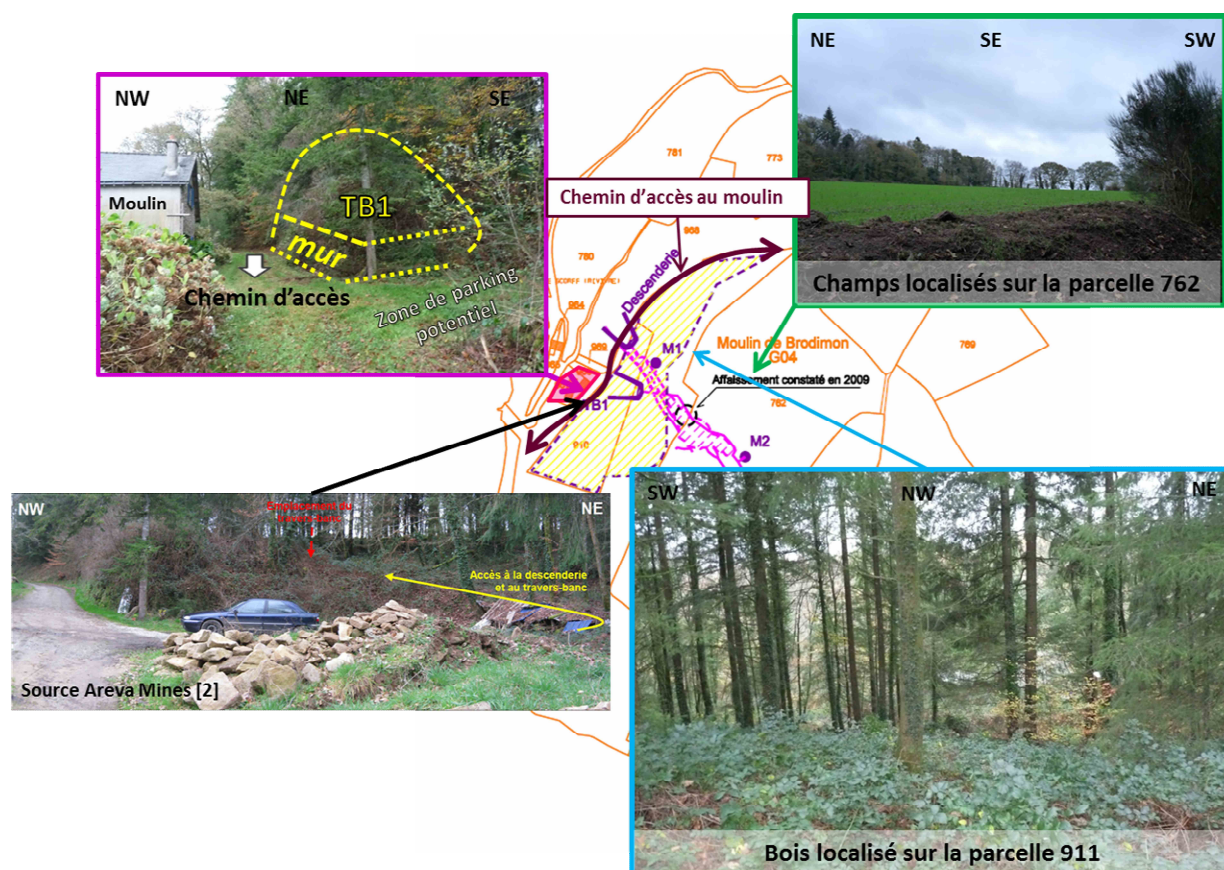


Figure 59 : Photographies du site du Moulin de Brodimon (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN et ©Areva Mines [2])

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiamétriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiamétriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre du BE sur le site du Moulin de Brodimon au niveau des chemins d'accès au carreau et au montage, de l'ancien carreau minier et des anciens travaux miniers (cf. Tableau 31) [2].

Tableau 31 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site du Moulin de Brodimon [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Chemin d'accès au carreau	120-200
Face à la maison et aux anciens travaux (mur)	250-2 100 (ponctuel)
Ancien carreau	200-350
Chemin d'accès au montage	150-900
Reste du site	300-600

Les mesures radiamétriques effectuées sur le chemin d'accès au montage, face à la maison, et au niveau des anciens travaux miniers sont de l'ordre de 2 à 9 fois le bruit de fond naturel avec notamment des valeurs ponctuellement supérieures à 20 fois le bruit de fond au niveau du mur de soutènement de TB1 face de la maison.

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées sur l'ensemble du site du Moulin de Brodimon à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 60). La majorité du site étant envahi de bois, de ronces et d'arbustes, les mesures ont été réalisées au niveau des zones accessibles à savoir sur les chemins et le long du moulin.

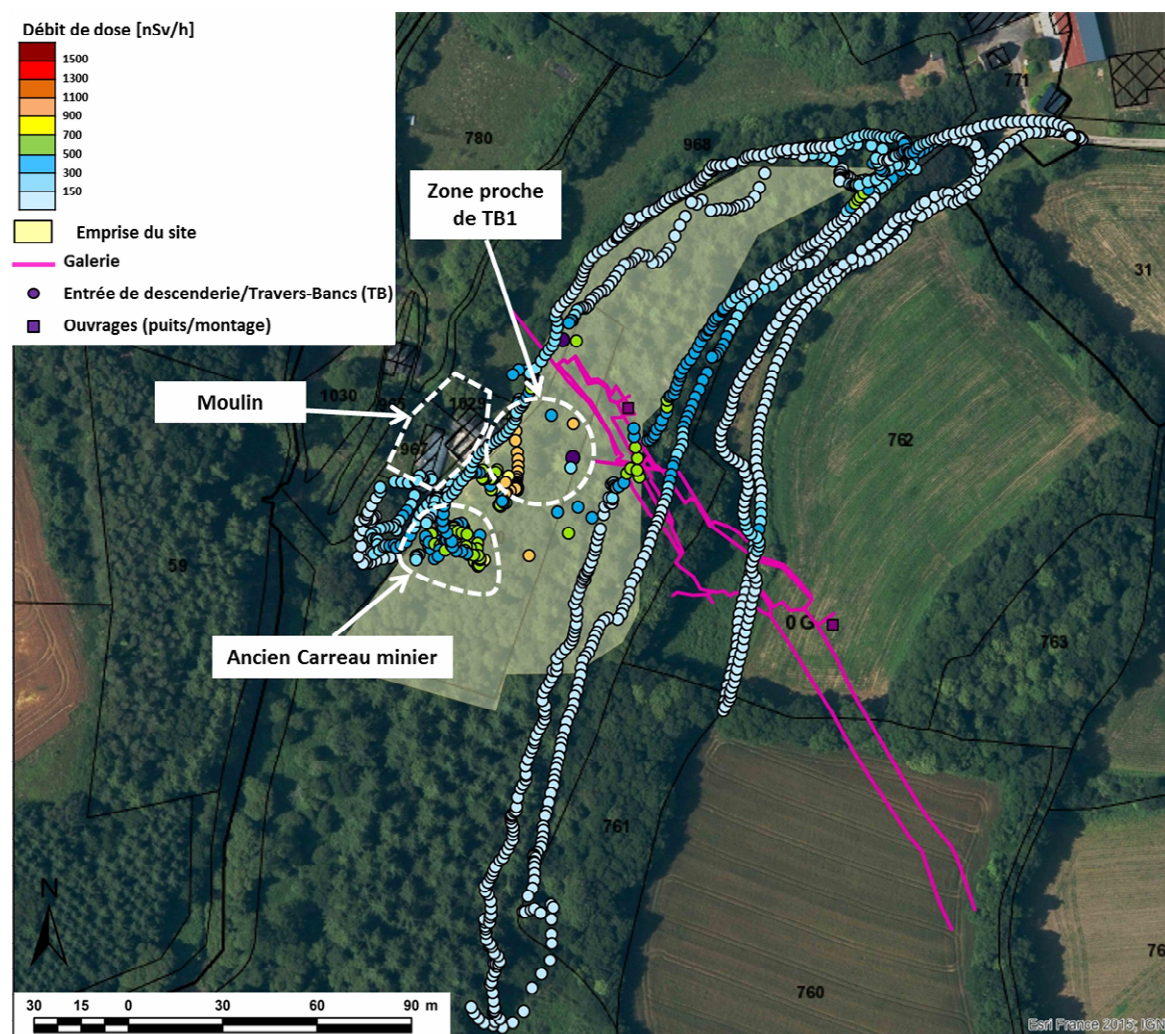


Figure 60 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur le site du Moulin de Brodimon avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

Les mesures révèlent des débits de dose de l'ordre de 4 à 8 fois le bruit de fond naturel au niveau du travers-banc devant la maison. Le chemin d'accès ainsi que l'ancien carreau minier présentent des débits de dose de l'ordre de 1 à 5 fois le bruit de fond naturel avec quelques zones de faible étendue présentant des débits de dose ponctuellement plus élevés comme par exemple au niveau de la descenterie (645 nSv/h). Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines (cf. Tableau 31).

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à différents prélèvements d'eau dans l'environnement du site (cf. Figure 61) [2, 12] :

- dans le ruisseau qui s'écoule au sud du site (Echantillon MDB RUS) ;
- dans le Scorff en aval immédiat du site (Echantillon MDB RUB).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, l'IRSN a effectué un prélèvement dans le Scorff au droit du Moulin de Brodimon (Echantillon 56E_MDB_B, cf. Figure 61 et Figure 62). De plus, lors de la visite de l'IRSN en août 2009, un prélèvement d'eau avait également été effectué dans le Scorff ; en aval éloigné du site, après sa confluence avec le ruisseau qui s'écoule au sud de celui-ci (cf. Figure 61).

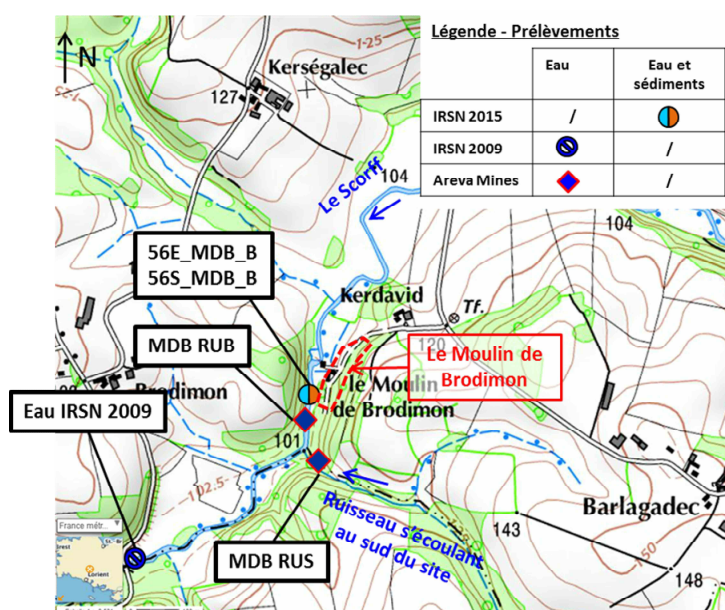


Figure 61 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du Moulin de Brodimon [2] (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])



Figure 62 : Photographie du point de prélèvement d'eau et de sédiments réalisé par l'IRSN dans le Scorff (56E_MDB_B et 56S_MDB_B, photographie ©IRSN).

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 32.

Tableau 32 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site du Moulin de Brodimon

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
MDB RUS	Ruisseau localisé au Sud du site du Moulin de Brodimon	Prélèvement en aval hydraulique du site (Areva Mines 2011, [2])	6,7	167	< 1		80	
		Prélèvement en aval hydraulique du site (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	7,0 [6,7-7,2]	171	< 1 [<1-<1]		50 [30-70]	
MDB RUB	Le Scorff	Prélèvement en aval hydraulique du site (Areva Mines 2011, [2])	6,6	150	3,1		40	
		Prélèvement en aval hydraulique du site (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,8 [6,4-7,3]	157	< 1 [<1-<1]		< 30 [<20-50]	
56E_MDB_B		Prélèvement au droit du site à proximité du point de prélèvement Areva Mines MDB RUB (IRSN 2015)	6,5	168		< 1		11 ± 5
Eau IRSN 2009		Prélèvement en aval éloigné du site (IRSN 2009, [7])	7,6	173	< 0,5		13 ± 5	

Les teneurs en radionucléides mesurées aux points MDB RUB, MDB RUS et 56E_MDB_B sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Les mesures réalisées dans le Scorff dans le cadre du contrôle de second niveau sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines (cf. Tableau 32).

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Areva Mines n'a pas procédé à des prélèvements de sédiments dans l'environnement du site. Un prélèvement de sédiments a été effectué par l'IRSN dans le Scorff au droit du site au point 56S_MDB_B (cf. Figure 61 et Figure 62). Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 33. L'activité massique de l'²³⁸U peut être assimilée à celle du ^{234m}Pa. Celle du ²²⁶Ra peut être assimilée à l'activité massique du ²¹⁴Pb (ou du ²¹⁴Bi).

Tableau 33 : Résultats des analyses effectuées par l'IRSN sur les sédiments prélevés au point 56S_MDB_B

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*		
		^{234m} Pa	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
56S_MDB_B	Prélèvement dans le Scorff, au droit du site à proximité du point de prélèvement d'eau Areva Mines MDB RUB (prélèvement IRSN 2015)	< 310	204 ± 19	190 ± 24

*exprimée en masse sèche

Les activités massiques mesurées au point 56S_MDB_B sont de l'ordre de grandeur de celles mesurées dans les sédiments hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). Elles ne mettent pas en évidence de déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra .

**Annexe 7: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques
et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers
du Morbihan : Site de Kerler**

Site de Kerler

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	Moulin de Brodimon, Le Hinguer, Kersegalec
Département	Morbihan (56)		
Commune	Lignol		
Cadastre	Propriété non Areva Mines : Commune de Lignol, section F02 parcelles 154, 155, 156, 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140 et section ZX parcelle 5A, 5B et 84 (cf. Figure 64)		
Propriété	Privée		
Surface du site	1 ha 02 a		

Source principale : Areva Mines [2]

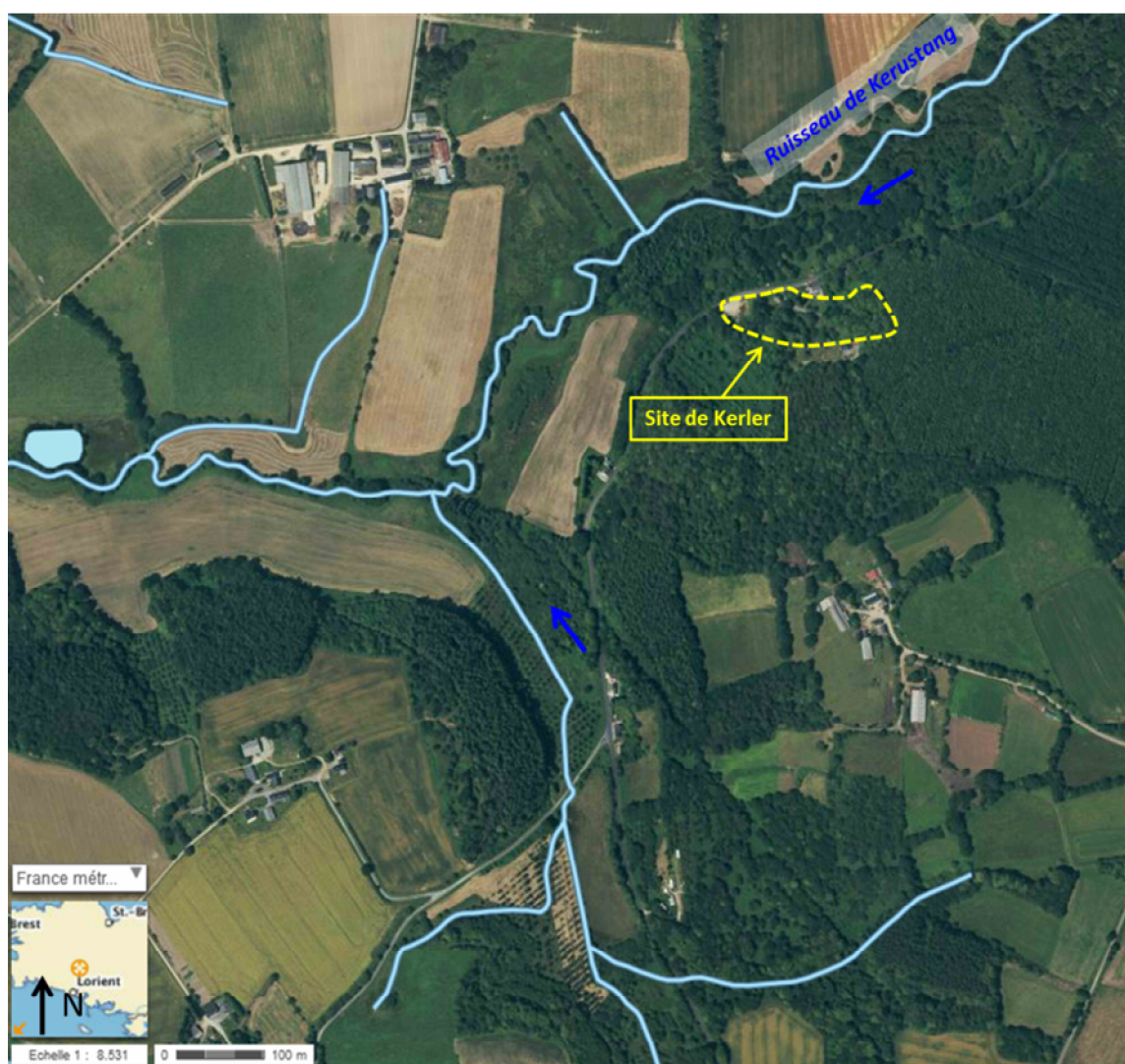


Figure 63 : Vue aérienne du site de Kerler, en jaune l’emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers Souterrains (TMS) : ils comprenaient une descenderie, un puits circulaire et deux montages. Les galeries étaient réparties sur six niveaux (N-15, N-30, N-45, N-60, N-75 et N-90).
Période d'exploitation	1961 à 1978
Production d'uranium [T]	117,697
Lieu de traitement du minerai	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	<p>TMS : l'entrée de la descenderie a été comblée sur 20 m et l'accès a été remodelé selon la topographie environnante. Le puits et les montages, intégralement remblayés avec les matériaux disponibles sur le site, sont matérialisés par des tumulus de 2 m de diamètre et 1 m de hauteur.</p> <p>Le carreau de la mine a été déboisé et modelé en accord avec la topographie environnante.</p> <p>En 2010, un muret en stériles, créé pendant l'exploitation, s'est en partie écroulé ; ce dernier a été reconstruit et par la même occasion la zone a été assainie.</p>
Fin des réaménagements	1993
Servitudes	/
Autres	<p>Une ancienne carrière de granite (exploitation 1920-1940) située à 50 m à l'ouest du site était utilisée comme aire de stockage du minerai pendant l'exploitation.</p> <p>Le rejet des eaux d'exhaure de la mine de Kerler se faisait via le fossé de la route reliant Lignol à Quelfenec. Les eaux s'écoulaient ensuite dans un pré (section ZX, parcelle 84) pour rejoindre le ruisseau de Kerustang.</p>

Source principale : Areva Mines [2]

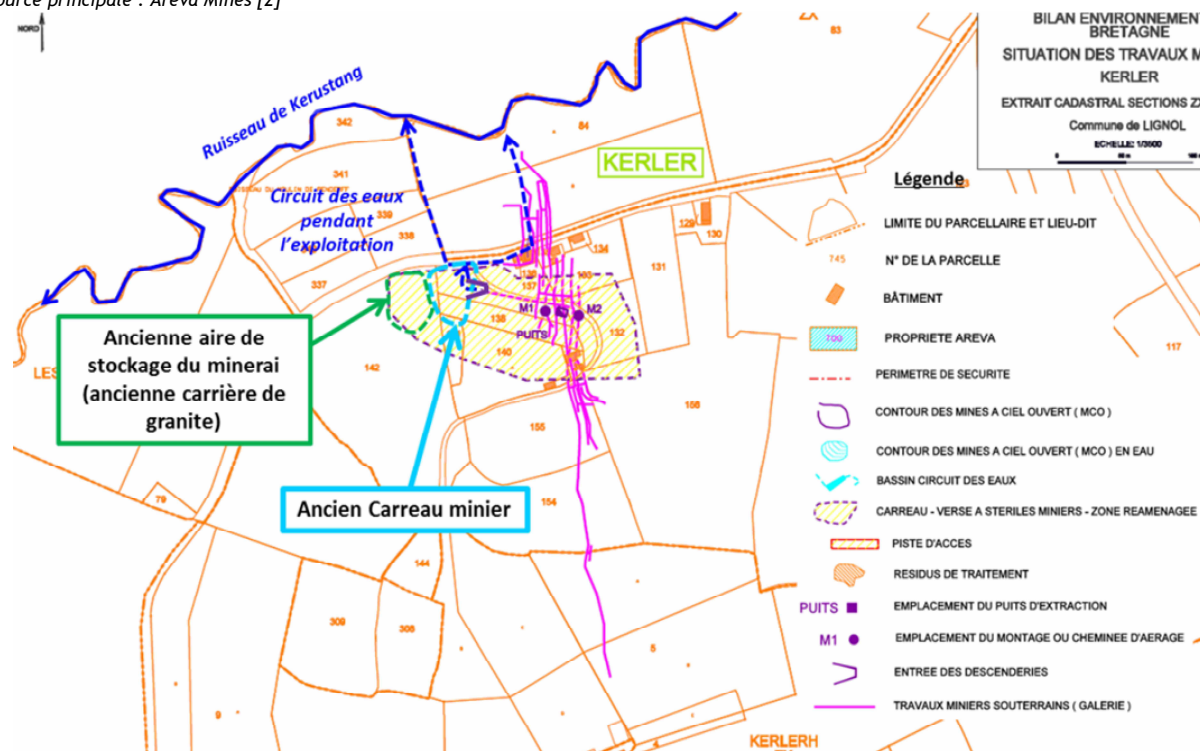


Figure 64 : Situation des travaux miniers du site de Kerler sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Kerler est localisé à 1,5 km au sud-ouest de Lignol (cf. Figure 65). Il est drainé par le ruisseau de Kerustang qui alimente l'étang de Pont Callec, 5 km en aval et rejoint ensuite le Scorff (cf. Figure 65).

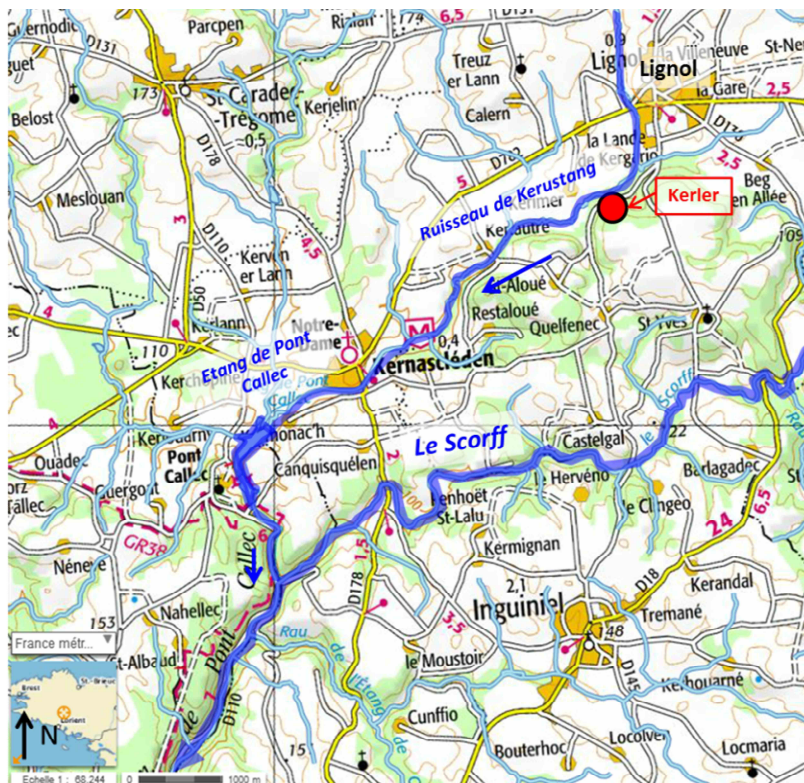


Figure 65 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Kerler ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
19 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<p>Sur site : Effectuer des mesures radiométriques, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure</p> <p>Champ proche : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site</p>	
Personnes présentes	
Le propriétaire des terrains	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Montage M1	X = 232 443 ; Y = 6 787 877
Puits	X = 232 455 ; Y = 6 787 875
Ancienne aire de stockage du minerai	X = 232 343 ; Y = 6 787 898

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le site est entouré de bois et se situe dans le hameau de Stang er Hayo (cf. Figure 66). L'ancien carreau minier est débroussaillé et un garage y est installé (cf. Figure 66 et Figure 67). L'ancienne aire de stockage du minerai, située en bord de route, est libre d'accès et est utilisée comme aire de stationnement (cf. Figure 66 et Figure 67).

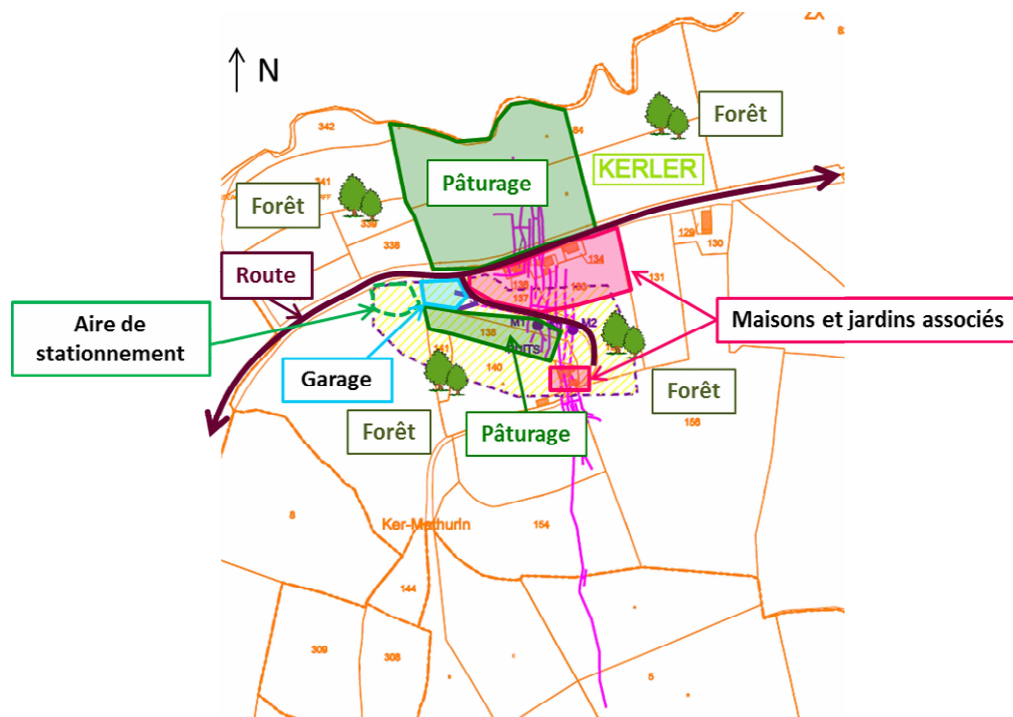


Figure 66 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site de Kerler en 2015 (localisation des usages sur plan cadastral [2])

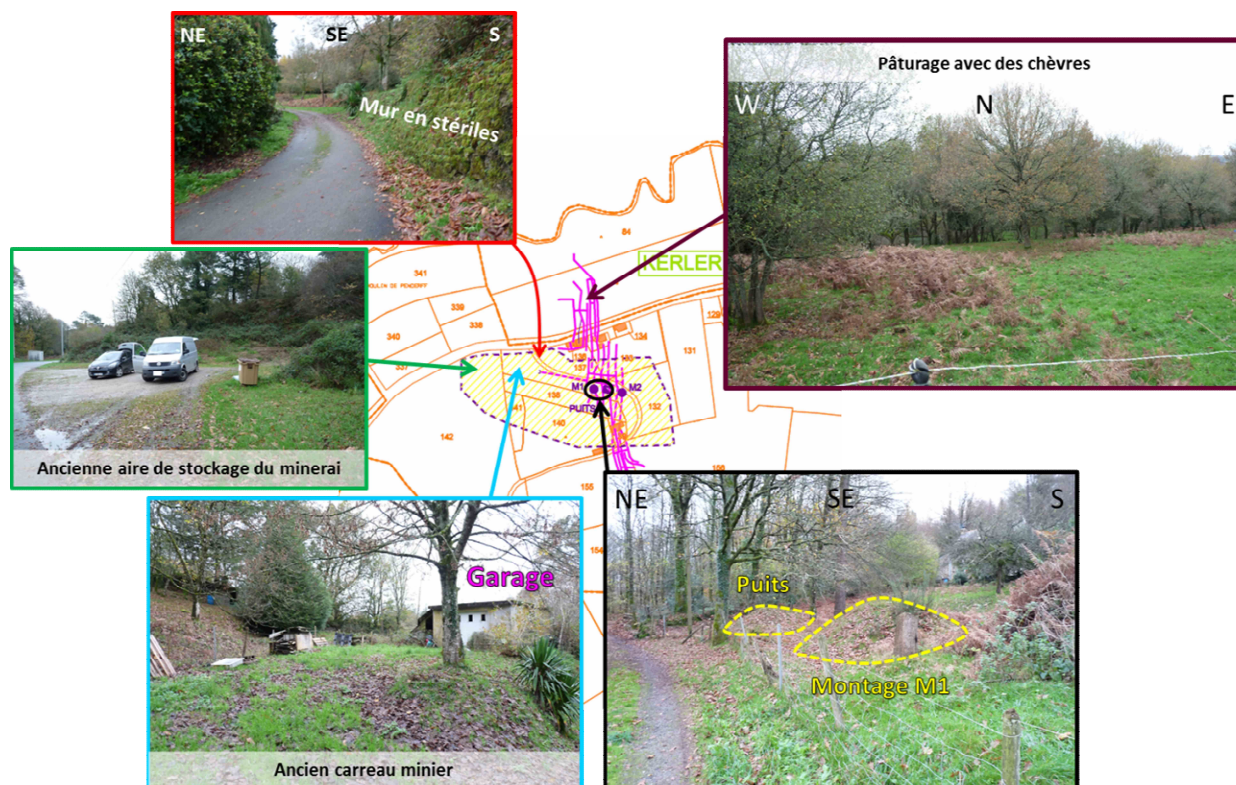


Figure 67 : Photographies du site de Kerler (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)

Les maisons du hameau de Stang er Hayo sont attenantes au site ; elles sont localisées à l'aplomb des TMS (cf. Figure 66). Le montage M1, le puits ainsi que les TMS de la parcelle 84 se situent sur des terrains utilisés comme pâturages. L'ancien circuit des eaux d'exhaure se situe principalement au niveau de la parcelle 84. Le propriétaire a indiqué lors de la visite de l'IRSN que des enfants venaient voir les chèvres qui s'y trouvaient.

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiamétriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiamétriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre du BE, autour des maisons et dans le fossé longeant la route, au niveau de l'ancien carreau minier, de l'ancienne aire de stockage du minerai, du muret en stériles et de la parcelle 84 (cf. Tableau 34) [2]. Ces mesures ont été complétées, en 2012, par la réalisation d'un plan compteur sur le site de Kerler (cf. Figure 68) [31].

Tableau 34 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Kerler [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Autour des maisons en bordure de route	200-450
Petit muret éboulé en bord du chemin	550-28 000
Ancien carreau de la mine	250-600
Fossé au nord de la route reliant Lignol à Quelfenec	600-2 000 (ponctuellement 3 500)
Dans la prairie en aval et au nord du site descendant vers le ruisseau de Kerustang	450-2 500
Carrière (ancienne aire de stockage du minerai)	200-500

Les mesures radiamétriques effectuées au niveau de l'ancienne aire de stockage du minerai, autour des maisons en bordure de route et sur l'ancien carreau de la mine sont généralement proches du bruit de fond. Quelques valeurs excédant 10 fois le bruit de fond sont présentes notamment au niveau du muret qui s'est écroulé en 2010 (le mur écroulé a été signalé lors d'une visite d'inspection du site par l'ASN Nantes du 24 novembre 2010 [33]). Par ailleurs, une radiamétrie très supérieure au bruit de fond a été observée le long de l'ancien circuit des eaux d'exhaure avec des valeurs supérieures à 20 fois le bruit de fond.

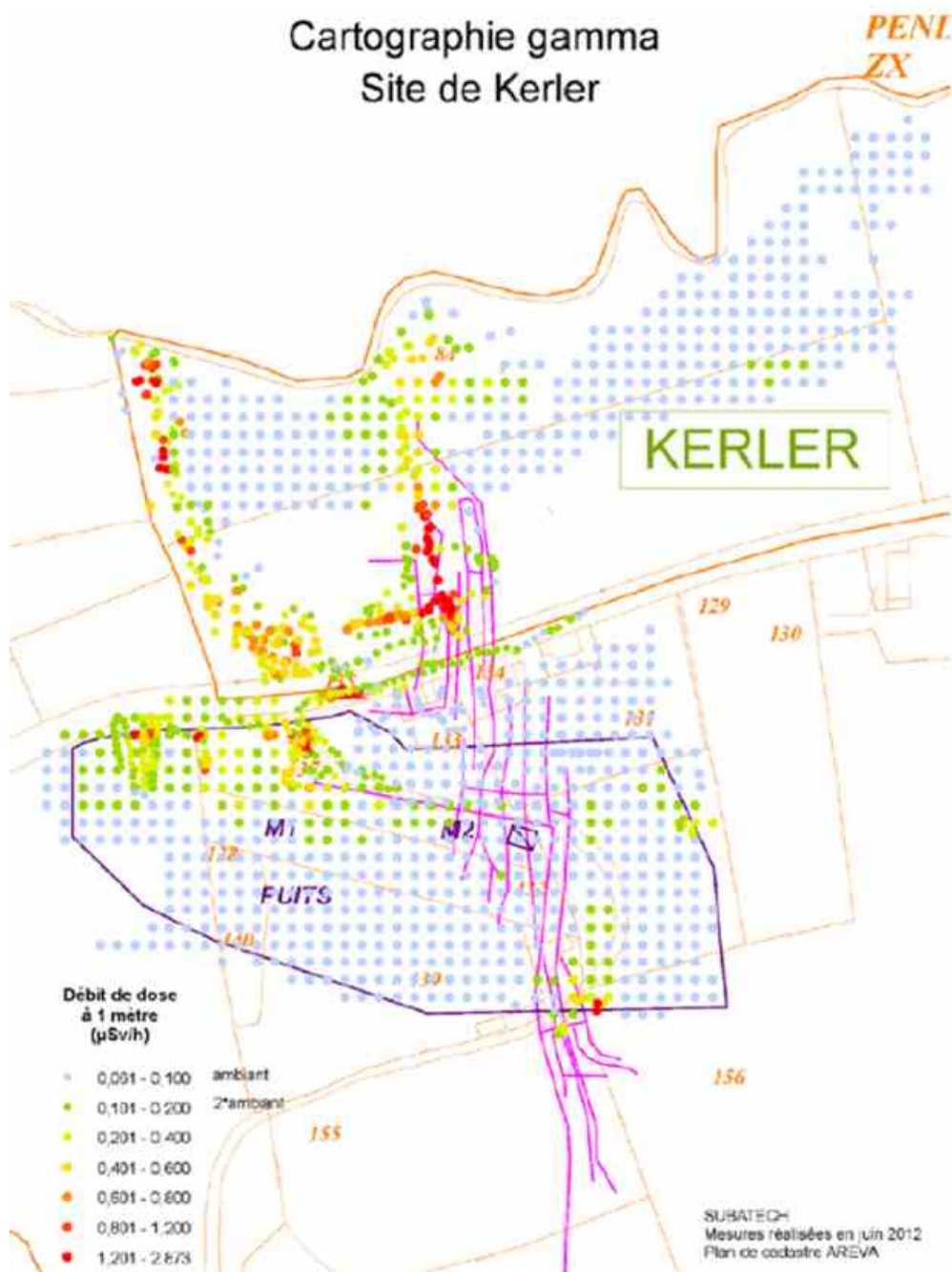


Figure 68 : Plan compteur du site de Kerler et de son environnement proche réalisé par Areva mines en 2012 [31]

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées par l'IRSN en 2015 sur le site de Kerler et dans son environnement proche à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 69).

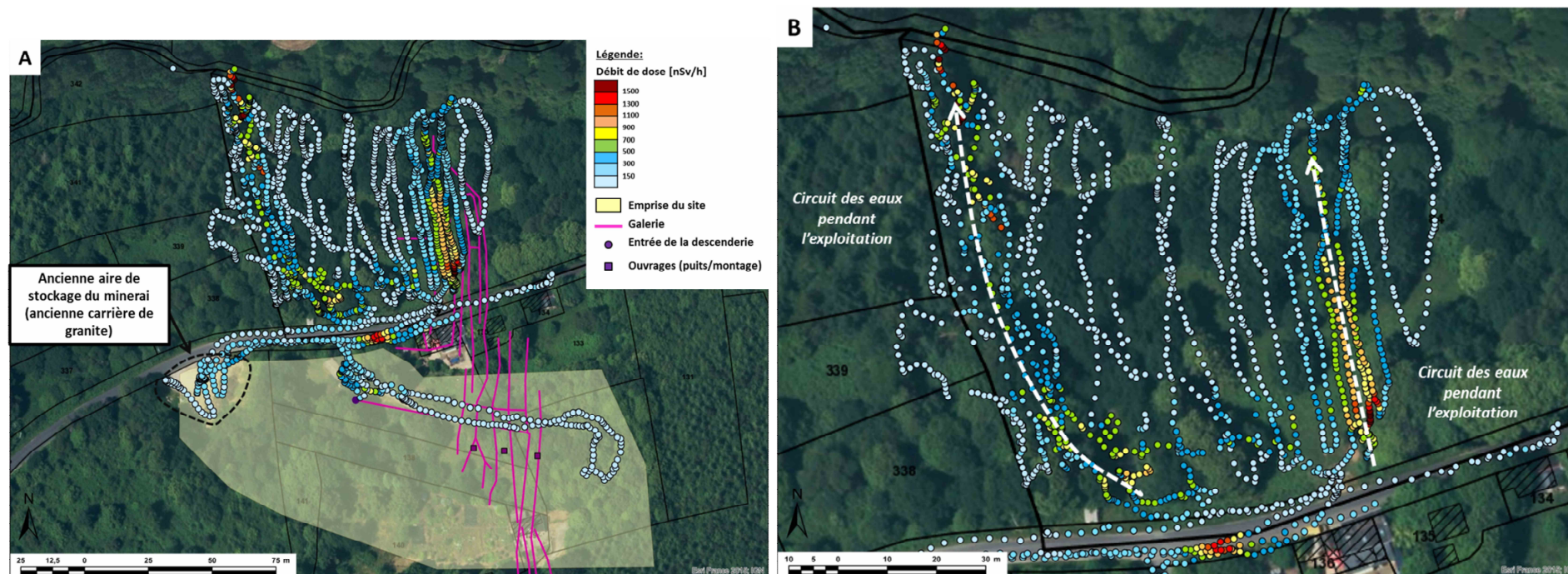


Figure 69 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Kerler avec l'outil MARCASSIN ; A-Vue générale du site, B-Zoom sur la parcelle 84 concernée par le circuit des eaux d'exhaure (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

Les mesures révèlent des valeurs de l'ordre de 1 à 3 fois le bruit de fond au niveau de l'ancienne aire de stockage du minerai et autour des maisons en bordure de route. L'ancien carreau de la mine présente quelques valeurs ponctuelles comprises entre 4 et 6 fois le bruit de fond. Le muret en stériles a été reconstruit et les mesures révèlent des valeurs de l'ordre de 1 à 2 fois le bruit de fond ; par conséquent les débits de doses mesurés par Areva Mines en 2011 et en 2012 à plus de 20 fois le bruit de fond (cf. Tableau 34 et Figure 68) n'ont pas été mesurés par l'IRSN lors du contrôle de second niveau. Les débits de dose mesurés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure, le long de la route (zone localisée au niveau d'un poteau électrique) et au niveau du champ sur la parcelle 84 peuvent atteindre plus de 10 fois le bruit de fond naturel (quelques valeurs à 1 700-1 800 nSv/h). Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines (cf. Tableau 34 et Figure 68).

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à un prélèvement d'eau en aval du site dans le ruisseau de Kerustang (Echantillon KLR RUB cf. Figure 70 et Tableau 35, [2, 12]). Le ruisseau de Kerustang a également été échantillonné en aval du site de Kerler dans le cadre des contrôles de second niveau de l'IRSN et plus particulièrement en aval immédiat de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (Echantillon 56E_KER_RUB, cf. Figure 70 et Figure 71). De plus, lors de la visite de l'IRSN en août 2009, un prélèvement d'eau avait été effectué dans ce même ruisseau en aval éloigné du site au lieu-dit Kerlautre (cf. Figure 70) [7].

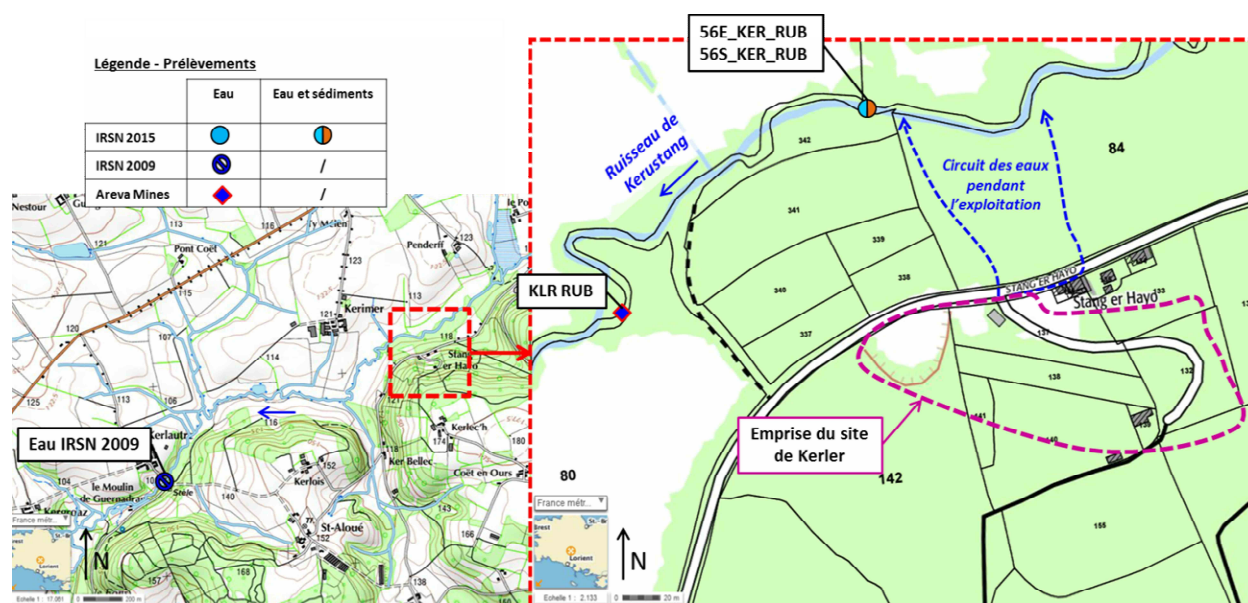


Figure 70 : Localisation des points de prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site Kerler et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])



Figure 71 : Photographie du point de prélèvements d'eau et de sédiments IRSN dans le ruisseau de Kerustang (56E_KER_RUB et 56S_KER_RUB, photographie IRSN©)

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 35.

Tableau 35 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Kerler

Nom de l'échantillon	Commentaires	pH	Conductivité [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [$\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$]
KLR RUB	Ruisseau de Kerustang en aval du site de Kerler (Areva Mines 2011, [2])	6,7	150	< 1		20	
KLR RUB	Ruisseau de Kerustang en aval du site de Kerler (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	7,0 [6,6-7,6]	156	< 1 [<1-<1]		30 [20-40]	
56E_KER_RUB	Ruisseau de Kerustang en aval immédiat de l'ancien circuit des eaux d'exhaure du site de Kerler (IRSN 2015)	6,3	169		< 1		< 5
Eau IRSN 2009	Ruisseau de Kerustang en aval du site de Kerler au niveau du lieu-dit Kerlautre (IRSN 2009, [7])	7,6	168	< 0,5		< 8	

Les teneurs en radionucléides mesurées dans les eaux prélevées aux points KLR RUB, 56E_KER_RUB et Eau IRSN 2009 sont cohérentes entre elles et sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Areva Mines a procédé en 2012 à deux prélèvements de sédiments dans le ruisseau de Kerustang au droit et en aval du site (Echantillons P1 et P5, cf. Figure 72) [31]. Un prélèvement de sédiments a également été effectué dans le ruisseau de Kerustang en aval immédiat du site de Kerler par l'IRSN dans le cadre des contrôles de second niveau et plus particulièrement en aval immédiat de l'ancien circuit des eaux d'exhaure, à proximité du lieu de prélèvement de l'échantillon P1 (Echantillon 56S_KER_RUB, cf. Figure 71 et Figure 72). Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 36. Pour l'échantillon prélevé par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

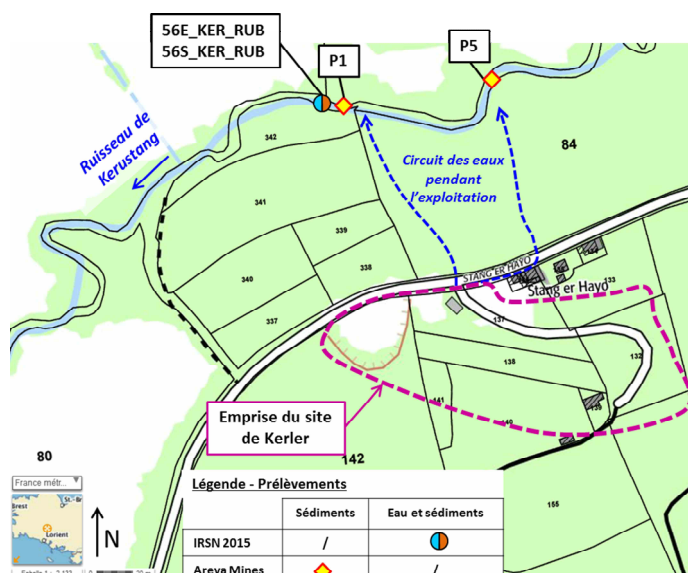


Figure 72 : Localisation des points de prélèvements de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site Kerler et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN)

Tableau 36 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés aux abords du site de Kerler

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
		²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
P1	Ruisseau de Kerustang en aval immédiat de l'ancien circuit des eaux d'exhaure du site de Kerler (Areva Mines 2012, [31])	20 ± 9		20 ± 35		
P5	Ruisseau de Kerustang au droit du site de Kerler (Areva Mines 2012, [31])	20 ± 9		37 ± 38		
56S_KER_RUB	Ruisseau de Kerustang en aval immédiat de l'ancien circuit des eaux d'exhaure du site de Kerler (IRSN 2015)		< 100		104 ± 16	97 ± 16

*exprimée en masse sèche

Les résultats des mesures réalisées sur les échantillons P1, P5 et 56S_KER_RUB ne mettent pas en évidence d'écart par rapport au bruit de fond et aucun déséquilibre entre l'²³⁸U et le ²²⁶Ra n'est observé (cf. Annexe 2).

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Areva Mines a réalisé en 2012 des prélèvements de sols au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (cf. Figure 73, [31]) :

- un prélèvement (Echantillons KC11 et KC12) à deux profondeurs différentes (10-20 cm et 20-40 cm) au niveau d'une zone marquée localisée au nord-ouest de la parcelle 84 ;
- un prélèvement (Echantillons KC21, KC22 et KC23) à trois profondeurs différentes (12-20 cm, 20-40 cm et 40-50 cm) au niveau d'une zone marquée localisée au sud-est de la parcelle 84 ;
- un prélèvement (Echantillons KC31) à une profondeur de 0-25 cm au niveau d'un talus marqué localisé au sud-ouest de la parcelle 84 ;
- un prélèvement (Echantillons KC41, KC42 et KC43) à trois profondeurs différentes (0-20 cm, 20-40 cm et 40-50 cm) au niveau du fossé longeant la route de Lignol.

Dans le cadre des contrôles de second niveau, deux prélèvements de sols ont été effectués par l'IRSN (56S_KER_T1 et 56S_KER_T2 à une profondeur correspondant à environ 2-20 cm, cf. Figure 73 et Figure 74) :

- un prélèvement dans une zone marquée au nord-ouest de la parcelle 84 (Echantillon 56S_KER_T1), à proximité des échantillons Areva Mines KC11 et KC12 ;
- un prélèvement dans une zone marquée de la parcelle 84 au droit d'une buse qui passe sous la route (Echantillon 56S_KER_T2), à proximité des échantillons Areva Mines KC21, KC22 et KC23.

Un sol avait été prélevé par l'IRSN en 2009 sur l'ancien carreau minier au niveau d'une zone où un débit de dose compris entre 1 300 et 1 500 nSv/h avait été mesuré.

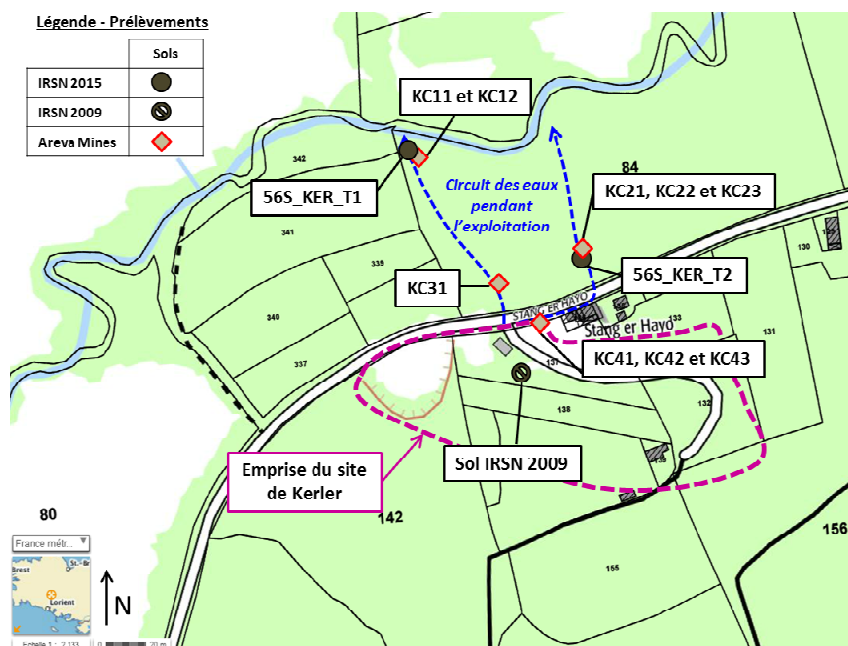


Figure 73 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site Kerler et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN [7])

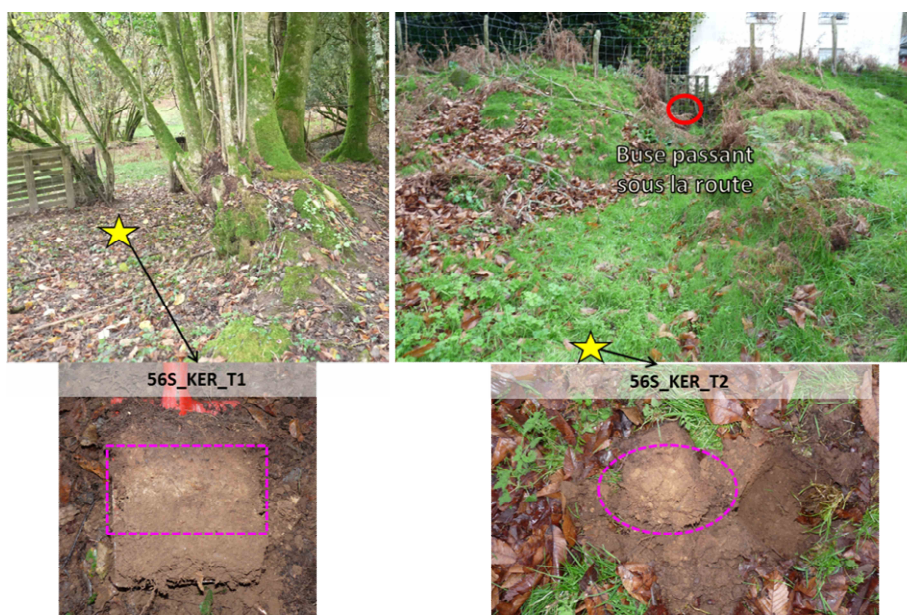


Figure 74 : Photographie des prélèvements 56S_KER_T1 et 56S_KER_T2 réalisés par l'IRSN en 2015 (photographies ©IRSN)

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sols sont présentés au Tableau 37. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 37 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sols prélevés sur le site de Kerler et en champ proche

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
		^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi
KC11	Prélèvement au niveau d'une zone marquée localisée au nord-ouest de la parcelle 84 à 10-20 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	54 711 ± 2 367		40 112 ± 9 877		
KC12	Prélèvement au niveau d'une zone marquée localisée au nord-ouest de la parcelle 84 à 20-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	2 020 ± 876		1 361 ± 356		
56S_KER_T1	Prélèvement dans une zone marquée au nord-ouest de la parcelle 84, à proximité des échantillons Areva Mines KC11 et KC12 avec un débit de dose au contact de 2700 nSv/h (IRSN 2015)		41 000 ± 6 000		24 700 ± 3 600	24 700 ± 3 500
KC21	Prélèvement au niveau d'une zone marquée localisée au sud-est de la parcelle 84 à 12-20 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	21 421 ± 9 141		16 942 ± 3 209		
KC22	Prélèvement au niveau d'une zone marquée localisée au sud-est de la parcelle 84 à 20-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	2 105 ± 916		877 ± 323		
KC23	Prélèvement au niveau d'une zone marquée localisée au sud-est de la parcelle 84 à 40-50 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	929 ± 405		549 ± 161		
56S_KER_T2	Prélèvement dans une zone marquée de la parcelle 84 au droit d'une buse qui passe sous la route, à proximité des échantillons Areva Mines KC21, KC22 et KC23 avec un débit de dose au contact de 2300 nSv/h (IRSN 2015)		43 000 ± 6 000		31 200 ± 4 500	30 700 ± 4 300
KC31	au niveau d'un talus marqué localisé au sud-ouest de la parcelle 84 à 0-25 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	3 604 ± 1 563		3 649 ± 741		
KC41	Prélèvement au niveau du fossé longeant la route de Lignol à 0-20 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	62 434 ± 26 961		61 536 ± 12 439		
KC42	Prélèvement au niveau du fossé longeant la route de Lignol à 20-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	3 732 ± 1 618		4 795 ± 968		
KC43	Prélèvement au niveau du fossé longeant la route de Lignol à 40-50 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	7 503 ± 3 250		9 737 ± 1 641		
Sols IRSN 2009	Prélèvement au niveau de l'ancien carreau minier au niveau d'une zone présentant un débit de dose compris entre 1300-1500 nSv/h (IRSN 2009, [7])		6 200 ± 800		$(^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi})/2 =$ 3 870 ± 270	

*exprimée en masse sèche

Les analyses effectuées montrent que les activités massiques sont globalement supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (plus de 100 fois pour l' ^{238}U et le ^{226}Ra pour les échantillons KC41 ou 56S_KER_T1 par exemple). Par ailleurs, les valeurs des activités massiques varient en fonction de la zone de prélèvement (comme par exemple pour les échantillons KC31 et KC41 prélevés dans les vingt premiers centimètres, cf. Tableau 37 et Figure 75). A cet égard, les valeurs des activités massiques sont les plus élevées dans la partie supérieure des sols et diminuent avec la profondeur. De plus, l'échantillonnage réalisé par Areva Mines au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure n'a probablement pas atteint la partie du sol qui présente des teneurs naturelles en radionucléides (estimés à entre une centaine à 200 Bq.kg⁻¹ pour les radionucléides de la chaîne de l'uranium, cf. Annexe 2). L'ensemble de ces valeurs confirme les informations obtenues notamment par la mesure des débits de dose à savoir un marquage des sols concernés par la circulation des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (cf. § 3.2.1 de la présente annexe).

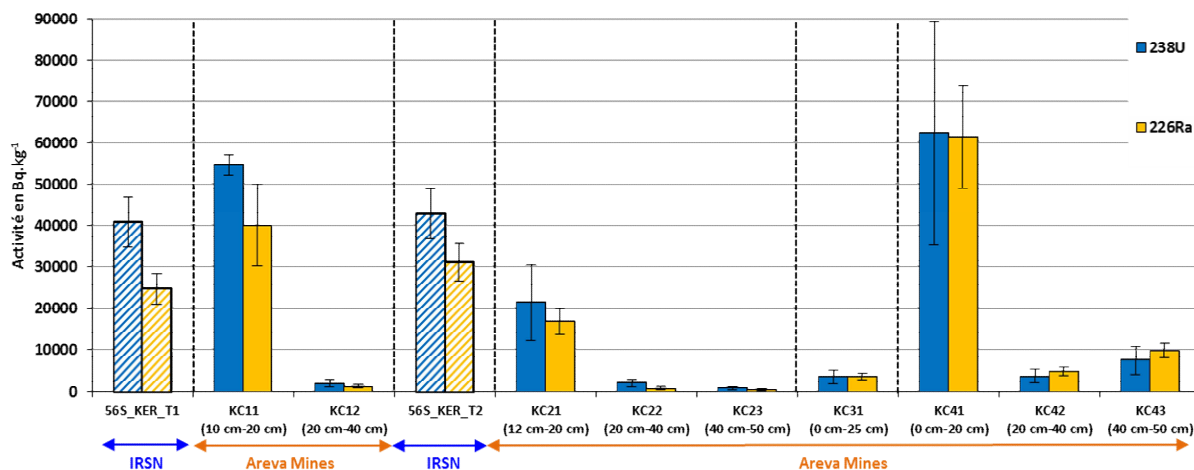


Figure 75 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012 et l'IRSN en 2015

Le sol prélevé par l'IRSN en 2009 au niveau d'une zone où un débit de dose compris entre 1 300 et 1 500 nSv/h a été mesuré présente également des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière ainsi qu'un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}=0,6$). Le marquage de cette zone pourrait également être lié au rejet des eaux d'exhaure pendant l'exploitation ou l'altération de stériles en place par les eaux météoritiques.

**Annexe 8: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques
et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers
du Morbihan : Site de Bonote**

Site de Bonote

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	Kerales, Roscorbel, Vouedec
Département	Morbihan (56)		
Commune	Berné		
Cadastre	<p><u>Propriété non Areva Mines</u> : Commune de Berné, section ZO parcelles 23a, 23b, 39, 76b, 78, 79 et 80</p> <p><u>Propriété Areva Mines</u> : Commune de Berné, section ZO parcelle 40.</p> <p>(cf. Figure 77)</p>		
Propriété	Privée et Areva Mines		
Surface du site	1 ha		

Source principale : Areva Mines [2]

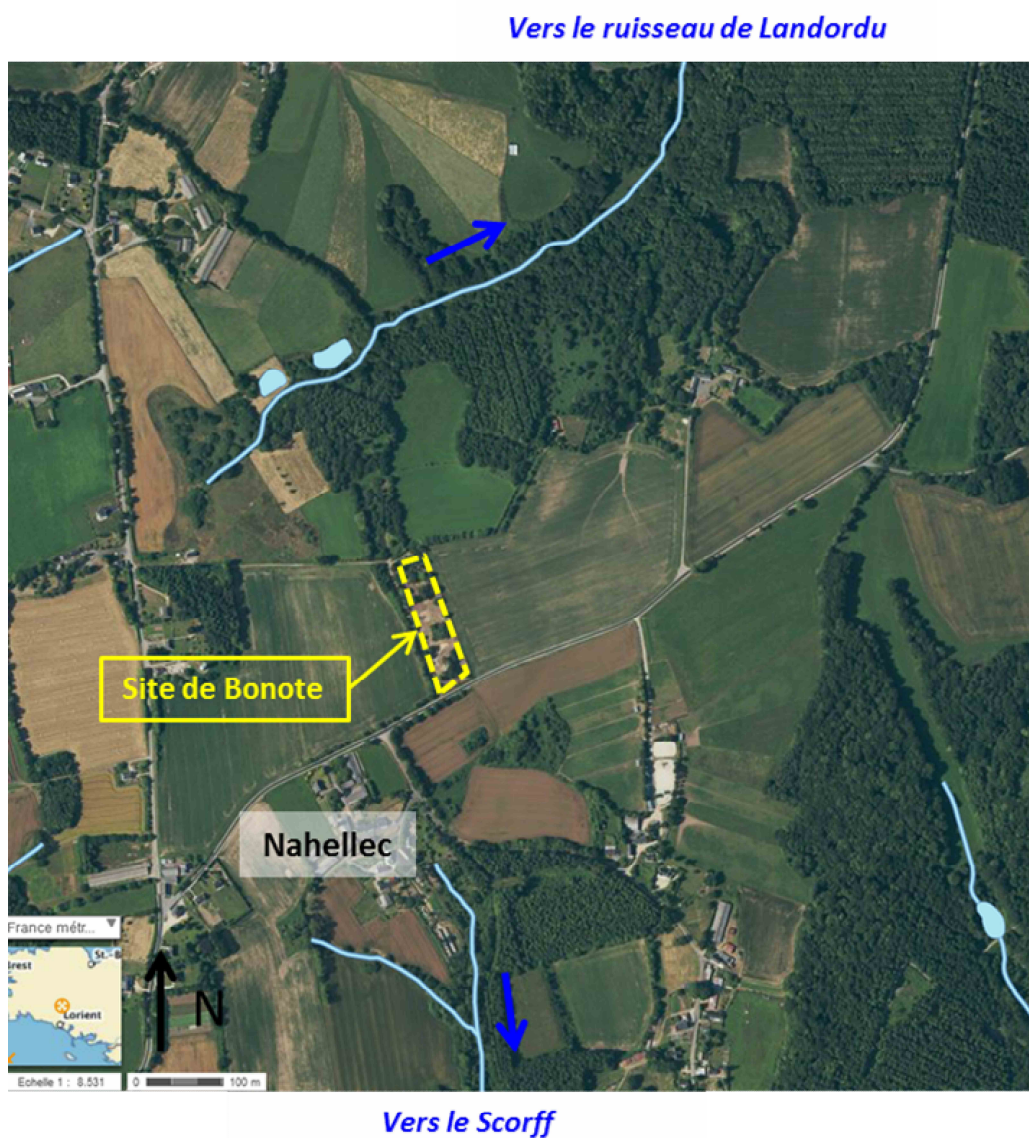


Figure 76 : Vue aérienne du site de Bonote, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers Souterrains (TMS) : ils comprenaient un puits (Puits Sainte Anne) et quatre montages (M1, M2, M3 et M4). Les galeries étaient réparties sur cinq niveaux (N-30, N-60, N-90, N-120 et N-150).
Période d'exploitation	1958 à 1971
Production d'uranium [T]	396,889
Lieu de traitement du minerai	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	<p>-TMS : Une partie des dépilages a été remblayée. Les quatre montages ont été intégralement remblayés au moyen de produits disponibles sur place. Seuls les montages M3 et M4 présentent un tumulus encore visible. Le carreau a été remodelé.</p> <p>-Le Puits Sainte Anne : Un périmètre de sécurité (grillage de 2 m de hauteur) a été mis en place autour du puits en 1995. En 1996, la tête du puits a été remblayée avec 615 tonnes de blocs décimétriques jusqu'à 3 m de profondeur puis avec des produits fins. Un tumulus a été mis en place en 1998 à l'aplomb du puits. Différents tassements ont été remblayés entre 1995 et 2002.</p> <p>En 2011, le site a été débroussaillé.</p>
Fin des réaménagements	1993 (derniers travaux 2002)
Servitudes	/
Autres	Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure des TMS étaient pompées et rejetées dans le talweg situé au sud du site.

Source principale : Areva Mines [2]

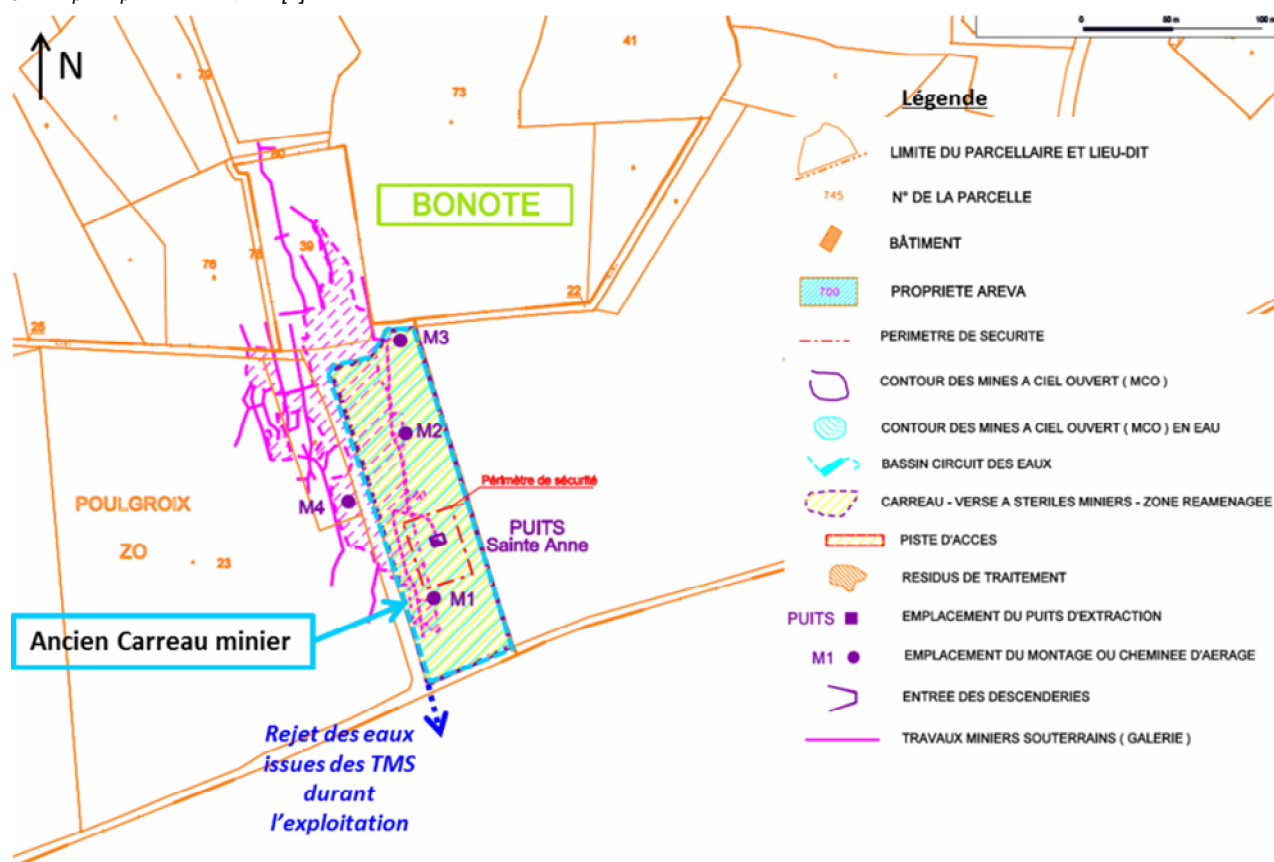


Figure 77 : Situation des travaux miniers du site de Bonote sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Bonote est localisé à 1,7 km au sud-est de Berné (cf. Figure 78). Au nord, le site est drainé par deux petits ruisseaux nommés ruisseau n°1 et ruisseau n°2 sur la Figure 78. Le ruisseau n°1 est un affluent du ruisseau de Landordu qui alimente l'étang de Pont Callec (cf. Figure 78). Les terrains localisés au sud du site sont drainés par un affluent du Scorff (nommé ruisseau n°3 sur la Figure 78) dont la source se fait à quelques centaines de mètres en aval du site de Bonote.

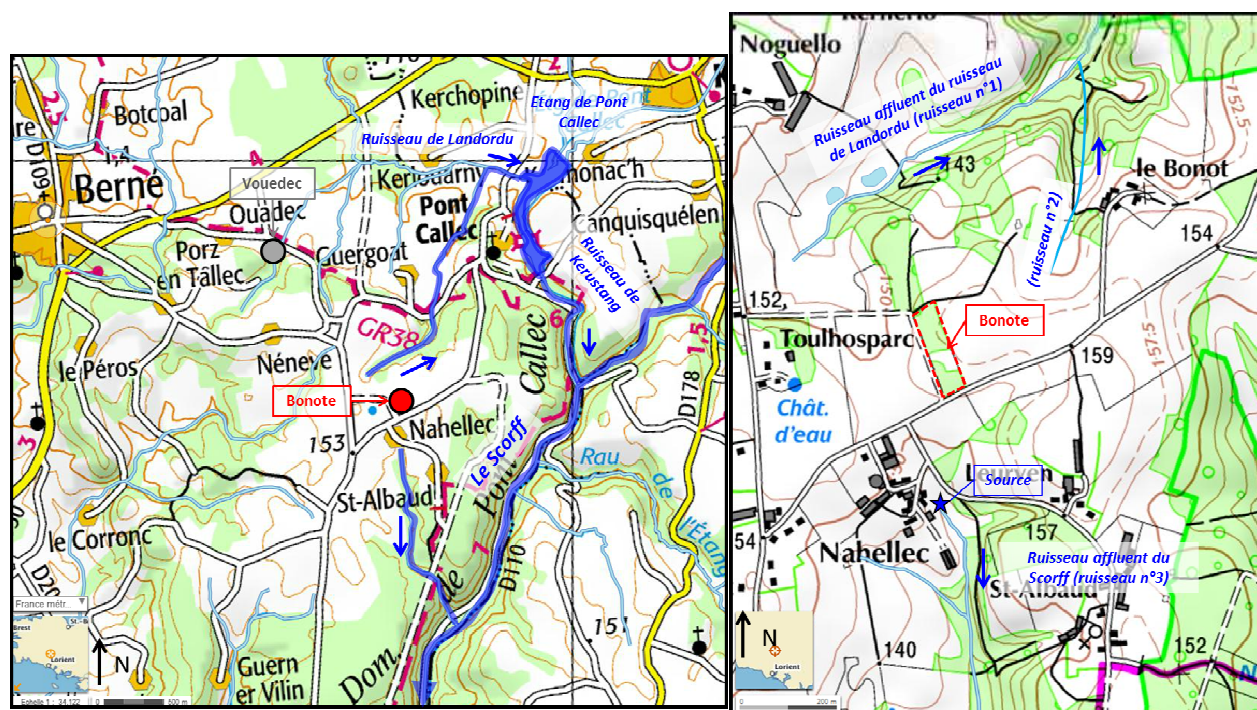


Figure 78 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Bonote : à gauche vue générale, à droite zoom autour du site ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4]).

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
20 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<p>Sur site : Effectuer des mesures radiométriques dans l'environnement proche du site, préciser l'usage et l'accès au site, réaliser des prélèvements au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure</p> <p>Champ proche : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site</p>	
Personnes présentes	
M. le maire de Berné	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Puits Sainte Anne/Périmètre de sécurité	X = 226 506 ; Y = 6 783 593

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le site est entouré de parcelles à usage agricole et un chemin d'accès longe le site à l'ouest (cf. Figure 79 et Figure 80). Un panneau propriété privée ainsi qu'un portail cadenassé interdit l'accès à l'ensemble du site qui est clôturé et sans usage (cf. Figure 79 et Figure 80).

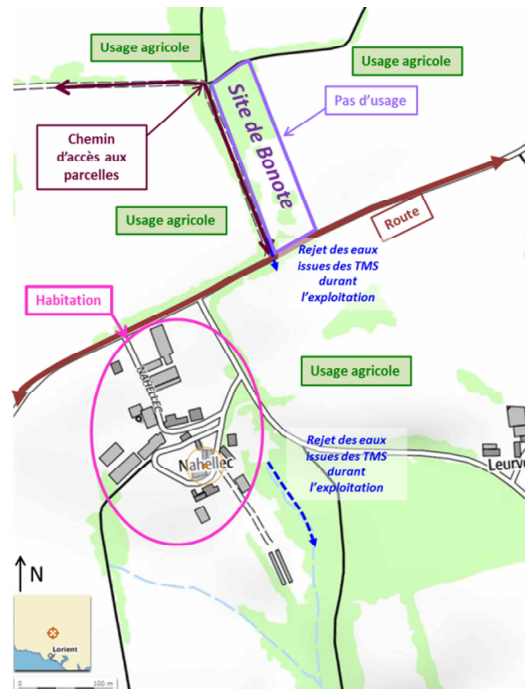


Figure 79 : Usages développés sur le site de Bonote et dans son environnement proche observés en 2015 (localisation des usages sur fond Géoportail ©IGN [4])

Le site a été débroussaillé et le périmètre de sécurité autour du puits Sainte Anne est bien visible (cf. Figure 80).

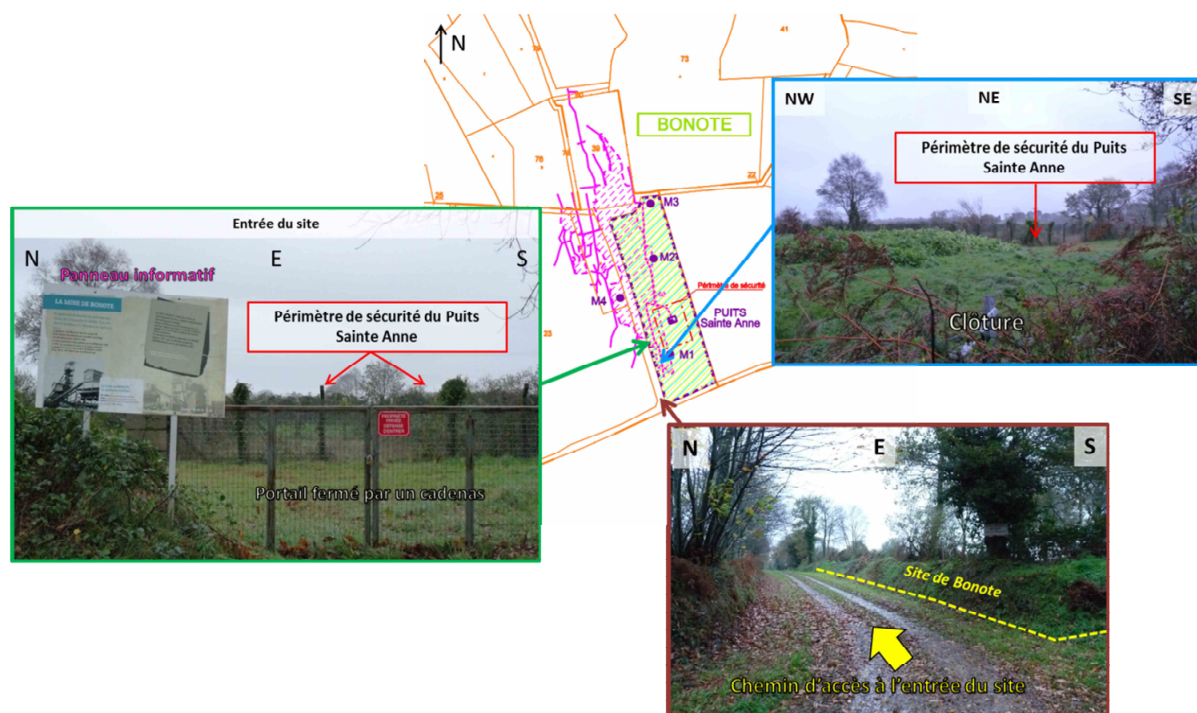


Figure 80 : Photographies du site de Bonote (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)

Les parcelles localisées sur l'ancien circuit des eaux d'exhaure sont à usage privé (jardin) et constituées de friches.

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiamétriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiamétriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre du BE sur le site de Bonote (carreau minier, anciens travaux), sur le chemin d'accès longeant le site et au niveau du talweg situé sur le circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation minière et localisé au sud du site (cf. Tableau 38) [2]. Ces mesures ont été complétées en 2012 par la réalisation d'un plan compteur sur le site de Bonote et dans son environnement proche (cf. Figure 81) [31].

Tableau 38 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Bonote [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Chemin d'accès longeant le site	250-1 200
Montage M3 et M4	200
Ancien carreau minier	200-660
Reste de l'emprise du site	150-250
Talweg à partir de la source près du hameau de Nahellec, sur environ 300 m	200-1 100

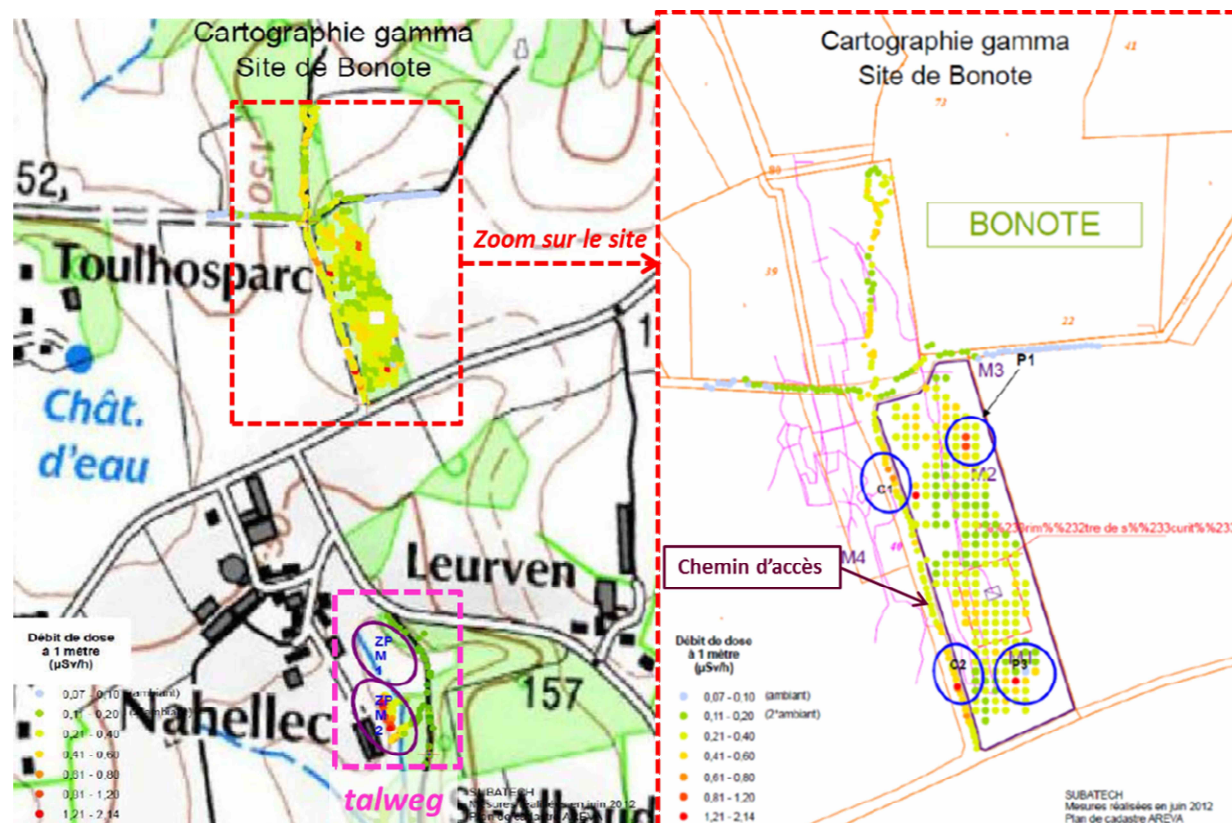


Figure 81 : Plan compteur du site de Bonote et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31] (zoom à droite)

Les mesures radiamétriques effectuées sur le site (ancien carreau minier, montage, puits) et sur le chemin d'accès sont généralement de l'ordre de 2 à 3 fois le bruit de fond naturel avec quelques valeurs ponctuellement à plus de 5 fois le bruit de fond naturel. Les valeurs relevées au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure sont de l'ordre de 2 à plus de 10 fois le bruit de fond naturel (au niveau de la parcelle 13).

Données IRSN

En 2015, l'IRSN a réalisé des mesures de débits de dose à l'aide de l'outil MARCASSIN autour du carreau minier (cf. Figure 82 - A et B) et sur une partie des parcelles concernées par le circuit des eaux d'exhaure (parcelle 9, cf. Figure 82 - A et C). En effet, certaines parcelles concernées par le circuit des eaux d'exhaure étaient en friche lors de la visite de l'IRSN en 2015 (comme par exemple la parcelle 13) et les mesures de débit de dose n'ont pas pu être réalisées. Cependant, les mesures réalisées par l'IRSN permettent de compléter le plan compteur réalisé par Areva Mines en 2012 qui n'avait pas eu la permission des propriétaires pour réaliser des mesures sur la parcelle 9 (cf. Figure 81).

Les débits de dose mesurés sur le chemin d'accès et le long de la route autour du site sont de l'ordre de 1 à 5 fois le bruit de fond naturel avec quelques points présentant des débits de dose ponctuellement plus élevés comme par exemple au niveau du fossé situé au carrefour entre la route principale et celle qui mène à Nahellec (cf. Figure 82 - B).

Pour ce qui concerne les débits de dose sur la parcelle 9, ils sont de l'ordre de 2 fois le bruit de fond naturel au niveau du jardin de la maison (partie nord de la parcelle). Les mesures révèlent une radiamétrie élevée le long du ruisseau (dont la résurgence se fait en partie basse du jardin) qui coule dans le creux topographique de la parcelle 9 avec des valeurs de l'ordre de 4 à plus de 10 fois le bruit de fond naturel.

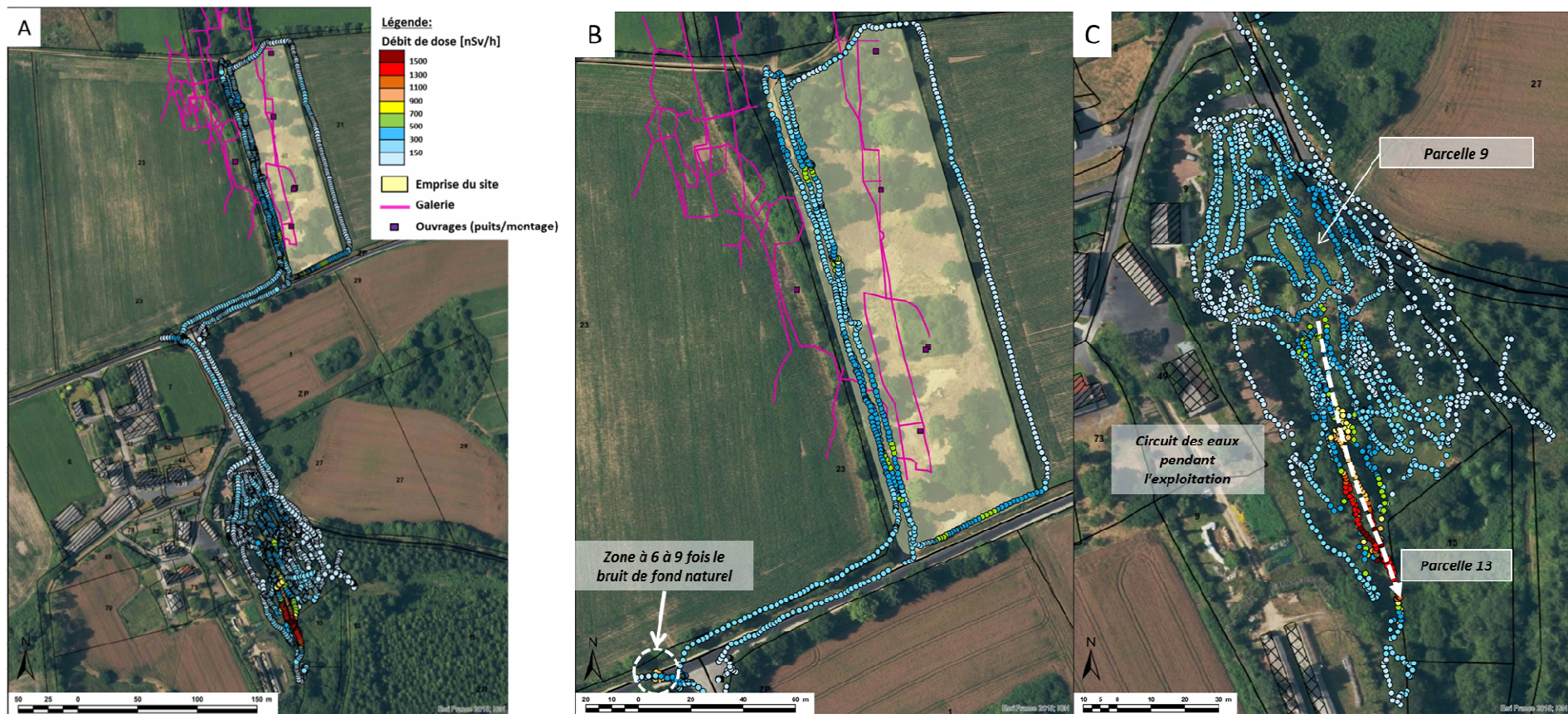


Figure 82 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Bonote avec l'outil MARCASSIN ; A-Vue générale, B-Zoom sur le site, C-Zoom sur une des parcelles concernée par le circuit des eaux d'exhaure (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à différents prélèvements d'eau dans l'environnement du site (cf. Figure 83 et Tableau 39, [2, 12]).

- dans le ruisseau n°1 qui s'écoule à 250 m au nord du site (Echantillon BON RUN) ;
- dans le ruisseau n°2 qui s'écoule à 400 m au nord-est du site en amont de sa confluence avec le ruisseau n°1 (Echantillon BON RUE) ;
- dans le ruisseau n°3 qui s'écoule au sud du site au niveau de la source (Echantillon BON SCE) et en aval de la source (Echantillon BON RUS).

Trois prélèvements d'eau ont été effectués par l'IRSN en 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau (cf. Figure 83 et Figure 84) :

- un prélèvement dans le ruisseau n°1 en aval de sa confluence avec le ruisseau n°2 (Echantillon 56E_BON_RUNB) ;
- deux prélèvements dans le ruisseau n°3, le premier au niveau du point de prélèvement Areva Mines BON RUS (Echantillon 56E_BON_RUB), au niveau de la zone concernée par l'ancien circuit des eaux d'exhaure du site de Bonote et le second dans un étang alimenté par le ruisseau n°3 localisé en aval éloigné de cette zone (Echantillon 56E_BON_ETGB).

En outre, un prélèvement d'eau a également été effectué par l'IRSN en août 2009 dans le ruisseau n°1 en amont du point Areva Mines BON RUN (cf. Figure 83) [7].

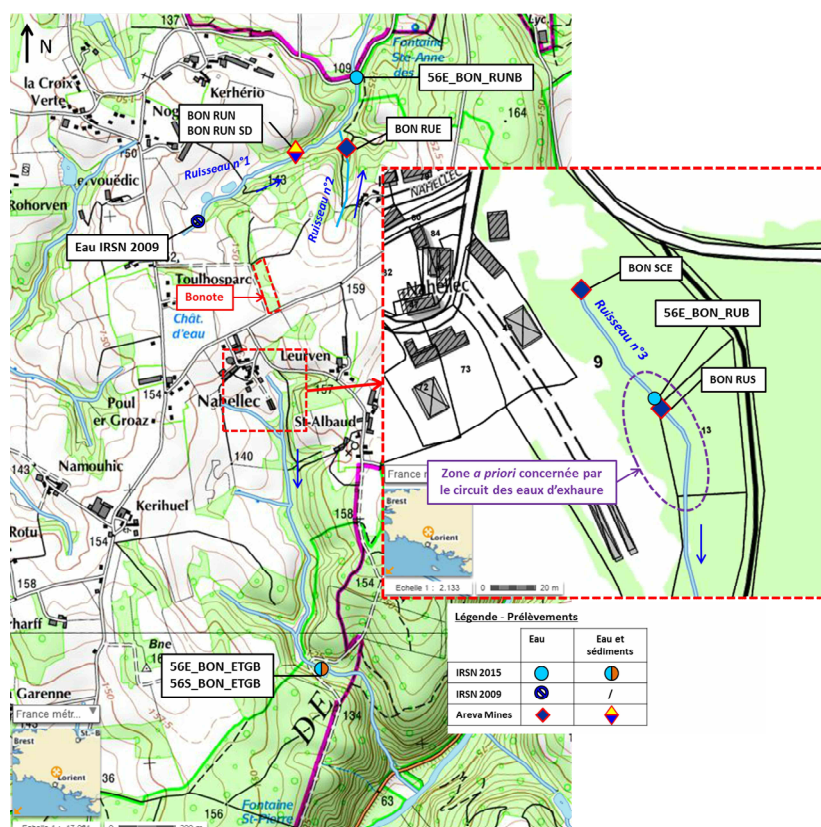




Figure 84 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments de l'IRSN dans l'environnement proche du site de Bonote (photographies ©IRSN)

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 39.

Tableau 39 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Bonote

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
BON RUN	Ruisseau n° 1 qui s'écoule au nord du site	Prélèvement Areva Mines de 2011 [2]	6,4	157	2,4		110	
		Moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines [12]	6,5 [6,1-6,8]	130	< 1 [<1-1]		< 50 [< 20 -70]	
Eau IRSN 2009		En amont du point de prélèvement BON RUN (IRSN 2009, [7])	7,7	214	0,90 ± 0,03		94 ± 26	
56E_BON_RUNB		En aval du point de prélèvement BON RUN (IRSN 2015)	6,3	131		< 1		66 ± 23
BON RUE	Ruisseau n°2 qui s'écoule au nord-est du site (Areva Mines 2011, [2])		6,2	160	< 1		70	
BON SCE	Ruisseau n° 3 qui s'écoule au sud du site	Prélèvement au niveau de la source (Areva Mines 2011, [2])	5,5	205	1,7		230	
BON RUS		Prélèvement en aval de la source (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	5,6 [5,3-5,8]	177	2 [1-2]		110 [80 -140]	
56E_BON_RUB		Prélèvement en aval de la source, au niveau du point de prélèvement BON RUS (IRSN 2015)	/	/		3,2 ± 0,3		252 ± 60
56E_BON_ETGB	Prélèvement dans un étang alimenté par le ruisseau n°3 localisé en aval éloigné du site (IRSN 2015)		6,2	135		11,1 ± 1,1		128 ± 37

Ruisseaux localisés au nord du site de Bonote :

Les activités en radium 226 au niveau des points de prélèvements réalisés au nord du site dans les ruisseaux n°1 et n°2 sont légèrement supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière (comme par exemple au niveau du prélèvement BON RUE $^{226}\text{Ra} = 70 \text{ mBq.L}^{-1}$, cf. Tableau 39) alors que les teneurs en uranium sont de l'ordre du bruit de fond. Les résultats des analyses radiologiques des eaux réalisées par l'IRSN en 2009 et 2015 dans ce secteur sont cohérents avec ceux rapportés par Areva Mines.

Ruisseau localisé au sud du site de Bonote :

Les prélèvements réalisés par Areva Mines et l'IRSN dans le ruisseau n°3 (au sud du site de Bonote) révèlent (cf. Tableau 39) :

- une activité en radium 226 dans le ruisseau n°3 supérieure celle généralement observée dans des eaux de surface hors influence minière ;
- une augmentation de la concentration en uranium de la source du ruisseau n°3 (BON SCE, $^{238}\text{U} = 1,7 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) vers l'aval (56E_BON_ETGB, $\text{U} = 11,1 \pm 1,1 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) ;

Pour ce qui concerne l'activité du radium 226 dans le ruisseau n°3, les mesures réalisées par l'IRSN sont cohérentes avec celles obtenues par Areva Mines. En revanche, l'augmentation de la concentration en uranium n'a pas été observée par Areva Mines qui n'a pas réalisé de prélèvement en aval de la zone marquée par les eaux d'exhaure.

Éléments d'analyse :

Le rapport Géoarmor indique que l'une des particularités du site de Bonote est sa localisation au sommet d'un dôme piézométrique et que les eaux souterraines s'écoulent aussi bien vers le nord que vers le sud du site [32]. Une des origines possible du marquage en radium des eaux de surface, nettement visible au sud mais moins flagrant dans la partie nord, peut-être l'émergence des eaux souterraines drainant le site qui présenteraient une activité en radium 226 supérieure au bruit de fond (données du piézomètre du site, $^{226}\text{Ra} = 1\,000 \pm 200 \text{ mBq.L}^{-1}$ [31]).

Pour ce qui concerne l'augmentation de la concentration en uranium de la source vers l'aval du ruisseau n°3, les différentes mesures réalisées par l'IRSN semble indiquer que les eaux se chargent en uranium au contact des sols présentant une contamination historique liée aux eaux d'exhaure.

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Areva Mines a procédé en 2011 à un prélèvement de sédiments dans le ruisseau n°1 qui s'écoule au nord du site (Echantillon BON RUN SD, cf. Figure 83). Dans le cadre du contrôle de second niveau, l'IRSN a réalisé un prélèvement de sédiments dans l'étang localisé en aval éloigné au sud du site (Echantillon 56S_BON_ETGB, cf. Figure 83 et Figure 84). Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 40. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 40 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés en champ proche du site de Bonote

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
		²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
BON RUN SD	Prélèvement dans le ruisseau n° 1 en aval du site de Bonote (Areva Mines 2011, [2])	140		600		
56S_BON_ETGB	Prélèvement dans un étang alimenté par le ruisseau n° 3 localisé en aval éloigné du site (IRSN 2015)		1 160 ± 250		1 430 ± 210	1 360 ± 200

*exprimée en masse sèche

Ruisseaux localisés au nord du site de Bonote :

Les résultats des mesures réalisées sur l'échantillon BON RUN SD indiquent des activités massiques supérieures pour le ²²⁶Ra (environ 3 fois) à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés ainsi qu'un déséquilibre entre l'²³⁸U et le ²²⁶Ra en faveur du ²²⁶Ra (cf. Annexe 2).

Ces résultats sont cohérents avec le marquage en radium 226 des eaux observé dans les ruisseaux qui s'écoulent au nord du site (cf. § 3.2.2 de la présente annexe).

Ruisseau localisé au sud du site de Bonote :

Les activités massiques mesurées dans l'échantillon 56S_BON_ETGB sont supérieures d'un facteur 6 environ à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (cf. Annexe 2).

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Un prélèvement de sol a été effectué par l'IRSN en 2015 à la limite des parcelles 9 et 13 (Echantillon 56S_BON_T1, à une profondeur correspondant à environ 2-20 cm, cf. Figure 83 et Figure 85) contrairement à Areva Mines qui n'a pas pu réaliser de prélèvements de sols sur la parcelle 9 potentiellement impactée par les eaux d'exhaure en l'absence d'autorisation des propriétaires [31]. Ce sol présente, dans sa partie supérieure, une couche d'humus de quelques centimètres d'épaisseur et une couche beige clair en dessous (cf. Figure 85).

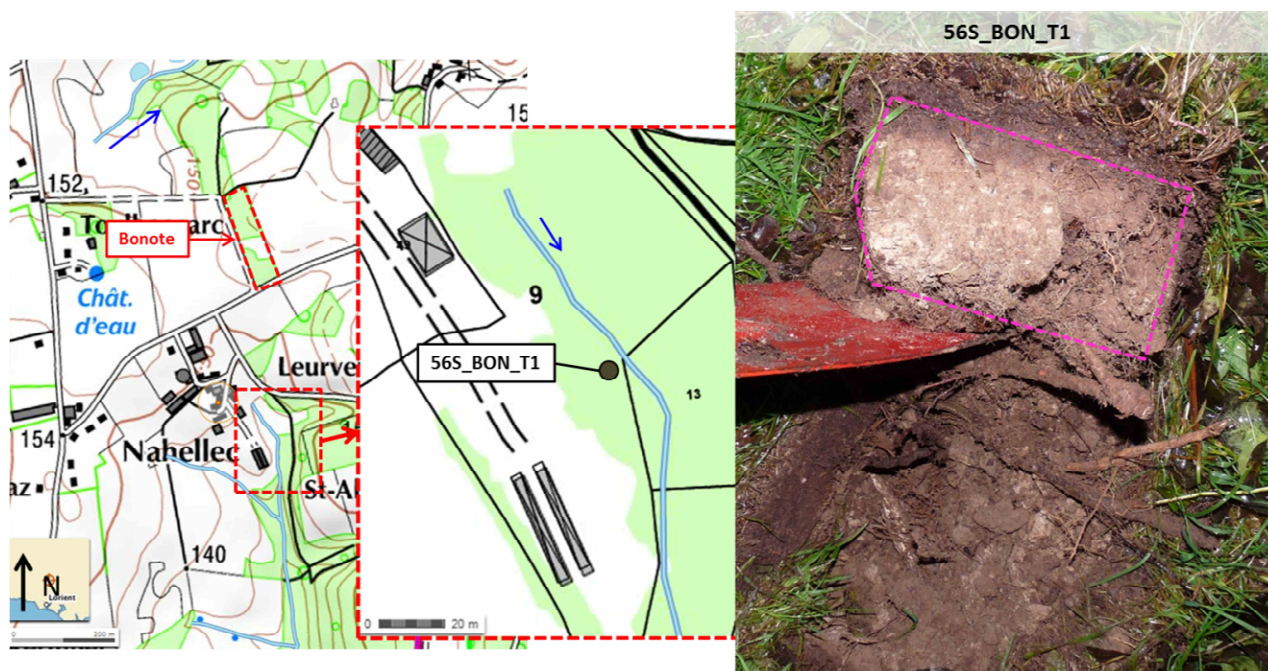


Figure 85 : Localisation et photographie de l'échantillon de sol 56S_BON_T1 prélevé sur la parcelle N 9 en bordure du ruisseau n 3 (localisation sur fond Géoportail ©IGN [4], photographie ©IRSN)

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique du sol sont résumés ci-dessous au Tableau 41. L'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 41 : Résultats de l'analyse du sol prélevé par l'IRSN en champ proche de Bonote

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*		
		$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{214}Pb	^{214}Bi
56S_BON_T1	Prélèvement de sols effectué par l'IRSN en 2015 à la limite des parcelles 9 et 13 avec un débit de dose au contact de 1 070 nSv/h	32 300 ± 4 500	13 800 ± 2 000	13 500 ± 1 900

*exprimée en masse sèche

Les résultats des mesures de l'échantillon de sols prélevé en 2015 indiquent des activités massiques supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (plus de 100 fois pour l' ^{238}U) ainsi qu'un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur de l' ^{238}U (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ = 0,4). Ces résultats sont cohérents avec l'existence d'un marquage du sol lié au rejet des eaux d'exhaure pendant l'exploitation. Ce marquage avait été identifié par Areva Mines par la mesure du débit de dose (cf. § 3.2.1 de la présente annexe).

**Annexe 9: Fiche d'observations de terrain, de mesures radiamétriques
et d'analyses des prélèvements effectués sur les anciens sites miniers
du Morbihan et du Finistère : Site de Rosglas**

Site de Rosglas

Région	Bretagne	Autres sites sur les communes	<u>Meslan</u> : Kervrec'h, Prat Meno <u>Guilligomarc'h</u> : Kerjean, Poulbet
Département	Morbihan (56) et Finistère (29)		
Commune	Meslan (Morbihan) et Guilligomarc'h (Finistère)		
Cadastre	<u>Commune de Meslan</u> : section ZV parcelles 2 et 3C <u>Commune de Guilligomarc'h</u> : B2 parcelle 704 (cf. Figure 87)		
Propriété	Privée		
Surface du site	0 ha 80 a		

Source principale : Areva Mines [2]

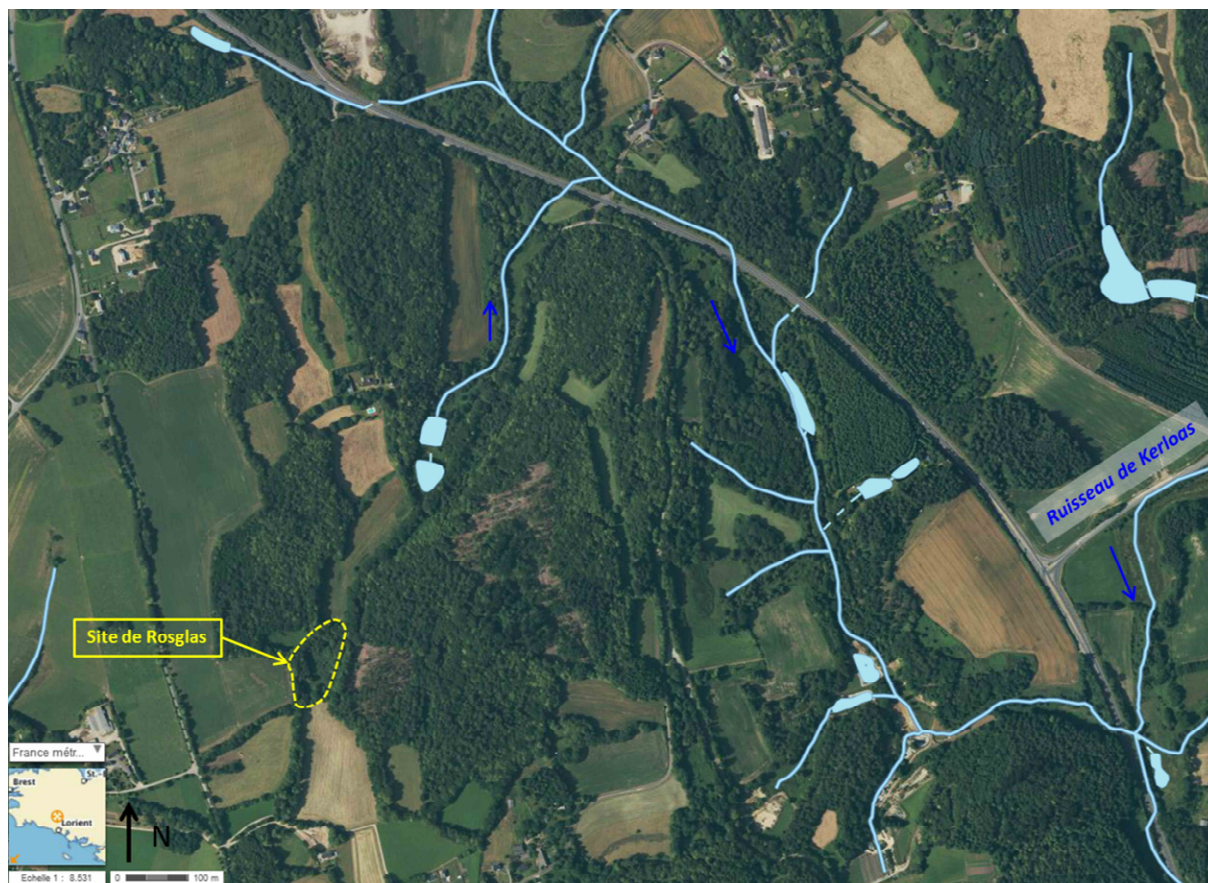


Figure 86 : Vue aérienne du site de Rosglas, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers Souterrains (TMS) et tranchée : Les TMS comprenaient un puits et trois montages (M1, M2 et M3). Les galeries étaient réparties sur quatre niveaux (N-15, N-30, N-45 et N-60). La tranchée présentait un volume d'environ 1 500 m ³ .
Période d'exploitation	1964 à 1975
Production d'uranium [T]	118,599
Lieu de traitement du minéral	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	<p>-TMS : les trois montages et le puits ont été entièrement remblayés avec des matériaux disponibles sur le site.</p> <p>-Tranchée : la tranchée a été rebouchée.</p> <p>-Installation de surface : le carreau de la mine a été déboisé et remodelé.</p> <p>Entre 1998 et 2009 un remblayage des tassements et fontis constatés sur le site a été réalisé.</p>
Fin des réaménagements	1993
Servitudes	/
Autres	Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure des TMS étaient pompées et s'écoulaient sur le chemin situé au nord du site.

Source principale : Areva Mines [2]

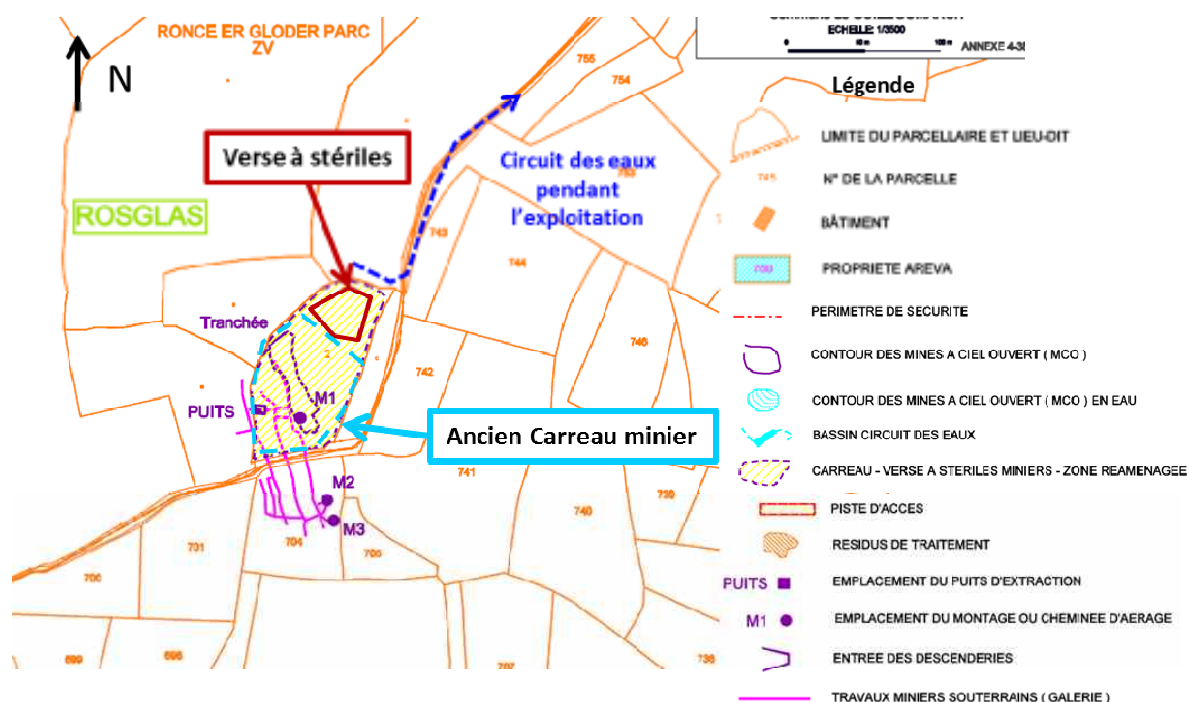


Figure 87 : Situation des travaux miniers du site de Rosglas sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Rosglas est localisé à 2,8 km au sud-est de Meslan. Une source localisée au nord-est du site au niveau d'un talweg donne naissance à un ruisseau qui coule au nord du site : ce dernier alimente en deux étangs (cf. Figure 88). En aval, le ruisseau rejoint le ruisseau de Kerloas qui se jette dans Le Scorff.

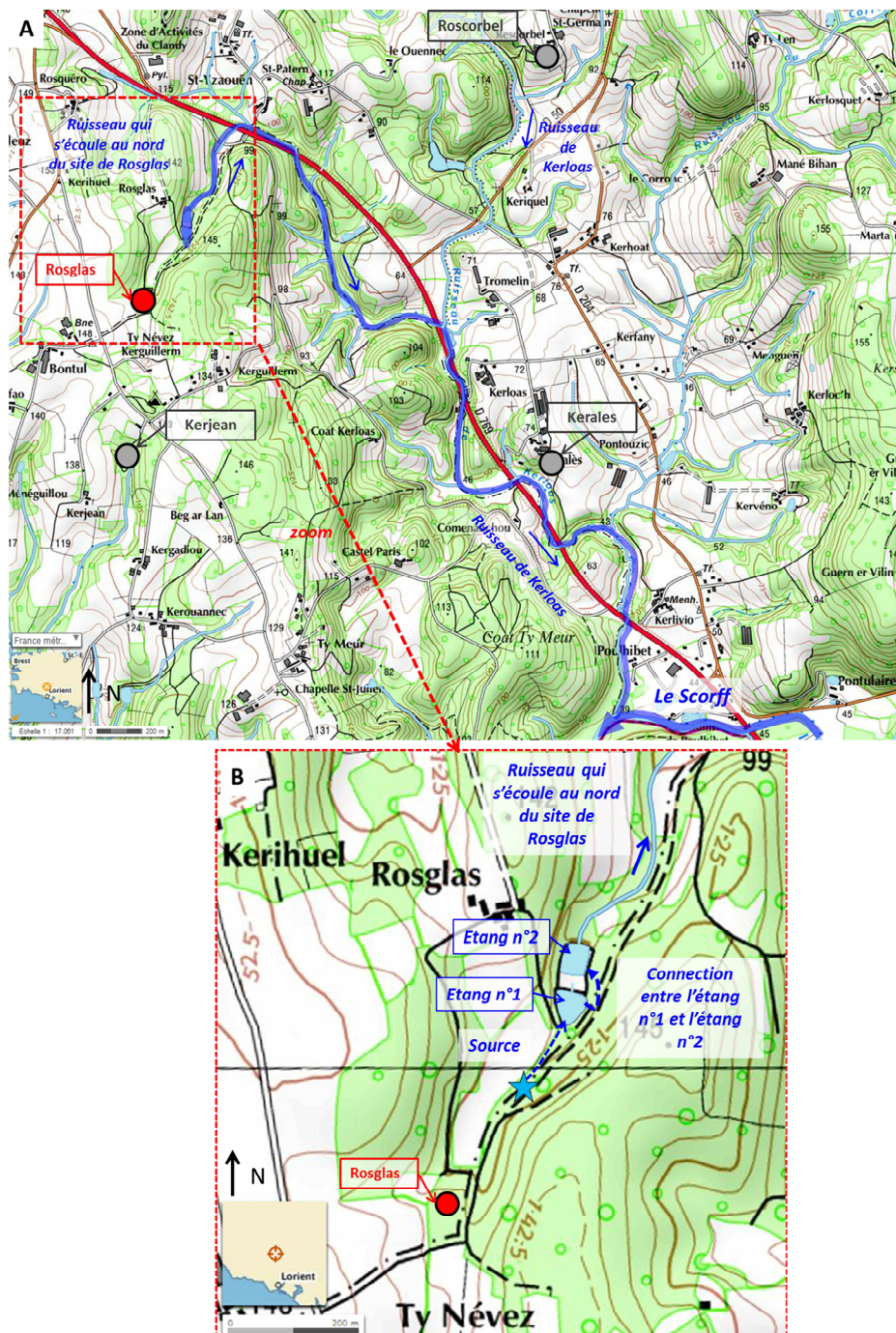


Figure 88 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Rosglas, A-vue générale et B-zoom sur l'environnement proche du site ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
18 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<p>Sur site : Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site</p> <p>Champ proche : Effectuer des mesures radiamétriques au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation, prélever des échantillons d'eau et de sédiments au niveau des étangs et du ruisseau localisés au nord du site</p>	
Personnes présentes	
Un adjoint à la mairie de Guiligomarc'h	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Puits	X = 221 277 ; Y = 6 782 521

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

L'accès au site se fait librement via un chemin de terre qui est utilisé pour la randonnée (cf. Figure 89 et Figure 90). Les terrains localisés dans l'emprise du site ne sont pas clôturés (ancien carreau, verse à stériles, tranchée, cf. Figure 87) et sont localisés dans un bois ; ils présentent une végétation dense (ronces, arbustes, buissons, cf. Figure 89).

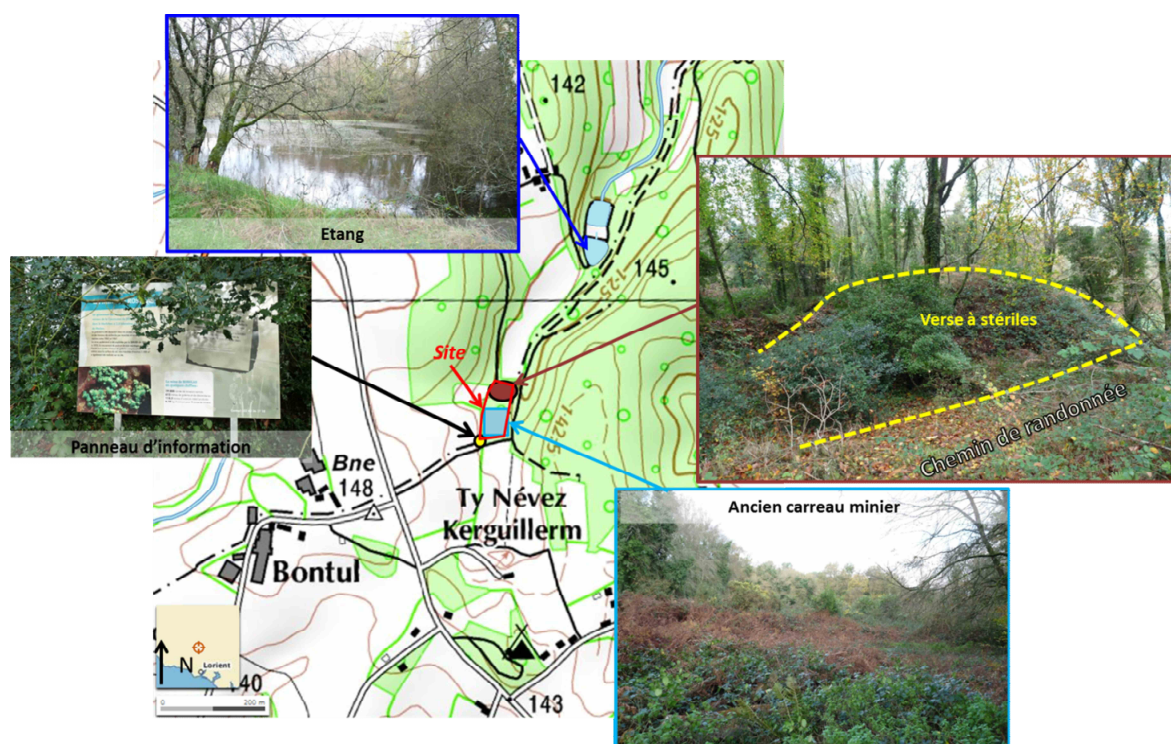


Figure 89 : Photographies du site de Rosglas et de l'environnement proche en 2015 (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN)

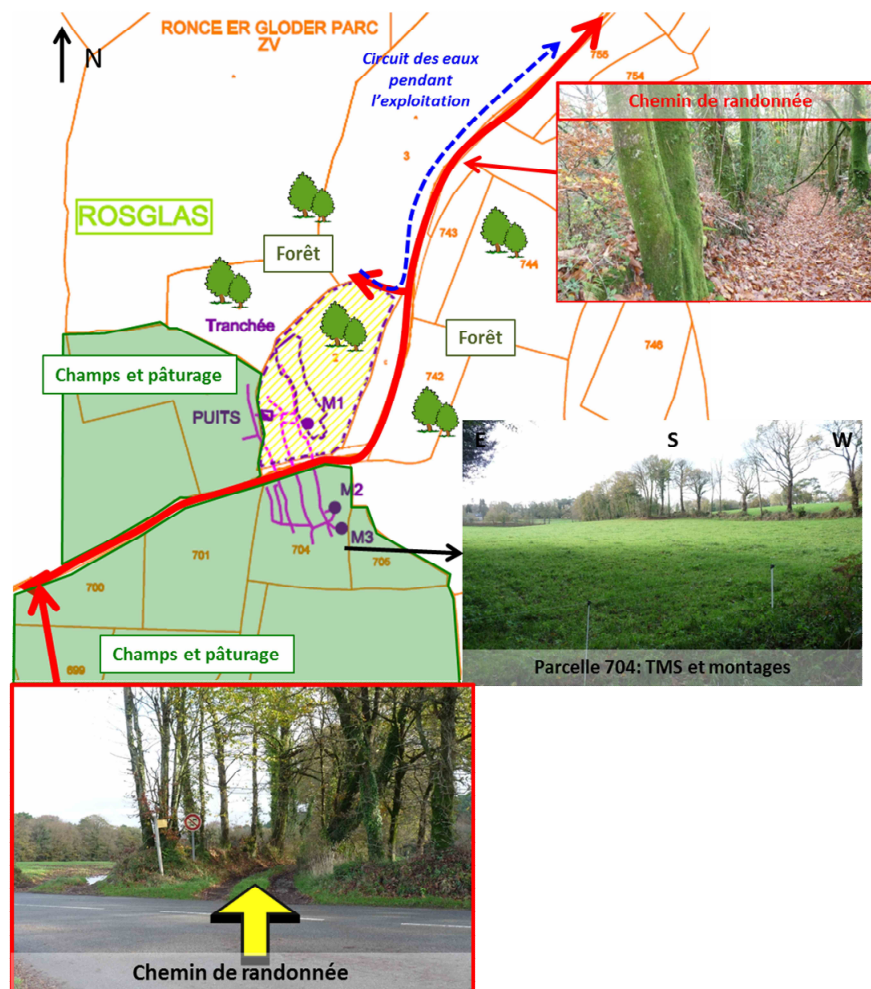


Figure 90 : Usages constatés du site de Rosglas et de son environnement proche en 2015 (localisation des usages et des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)

Les terrains localisés à l'aplomb des anciens travaux miniers souterrains sont actuellement utilisés à des fins agricoles (champs et pâturage, cf. Figure 90). Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure des TMS étaient pompées et s'écoulaient le long d'un fossé puis dans un chemin (cf. Figure 87) qui est actuellement un chemin de randonnée (cf. Figure 90). Ce dernier mène à deux étangs localisés au nord et en aval du site (cf. Figure 89).

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiométriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiométriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre du BE sur le site de Rosglas au niveau du chemin d'accès au site, de l'ancien carreau minier, de la tranchée, de la verse à stériles et du chemin de randonnée (cf. Tableau 42) [2]. Ces mesures ont été complétées, en 2012, par la réalisation d'un plan compteur sur le site de Rosglas et au niveau du chemin de randonnée (cf. Figure 91) [31].

Tableau 42 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Rosglas [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Chemin d'accès au site	200-350
Carreau du site et puits	260-550
Emprise de la tranchée	400
Verse	350-600 (2 500 ponctuellement sur le flanc nord)
Zone sud dans le champ	120-220 (450 ponctuellement)
Valeurs ponctuelles sur le chemin de randonnée au nord de la verse	800-2 500

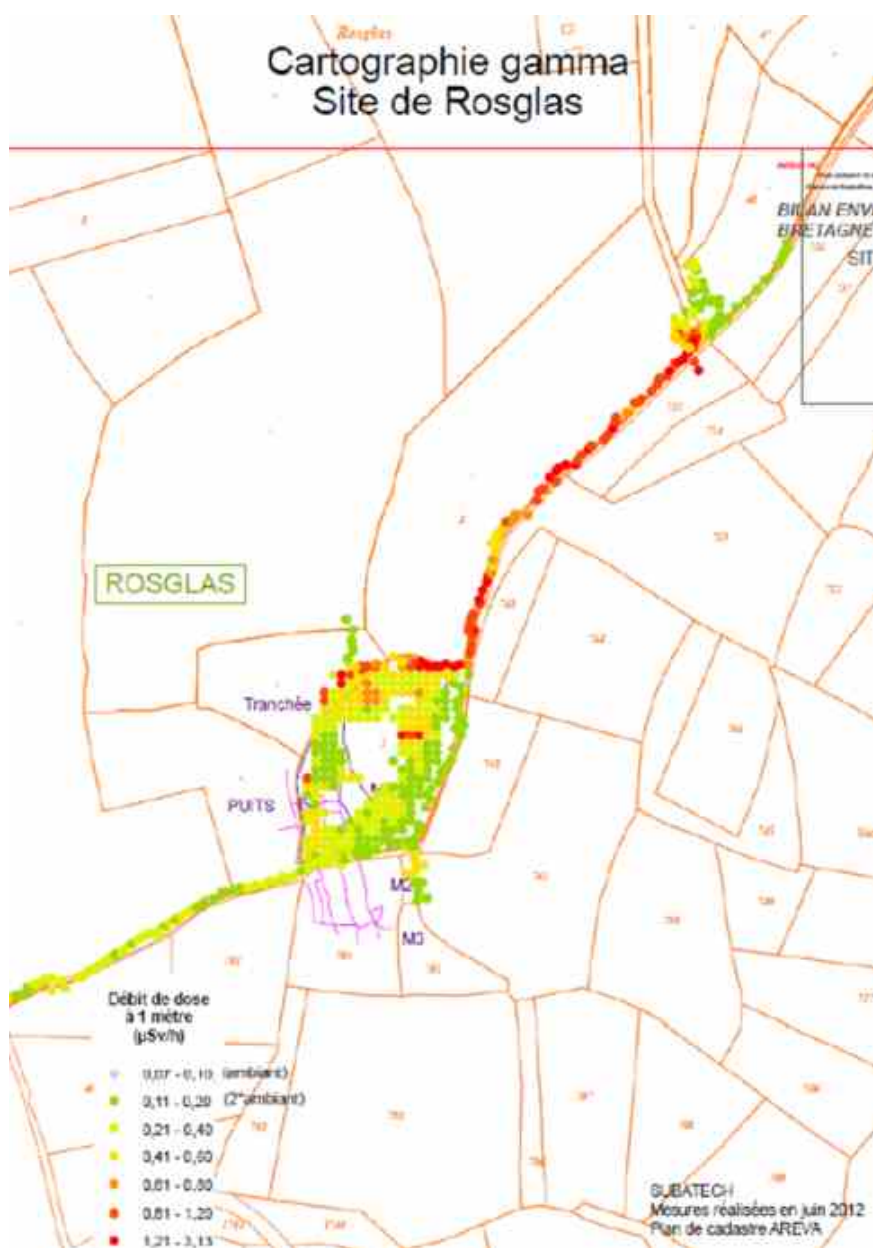
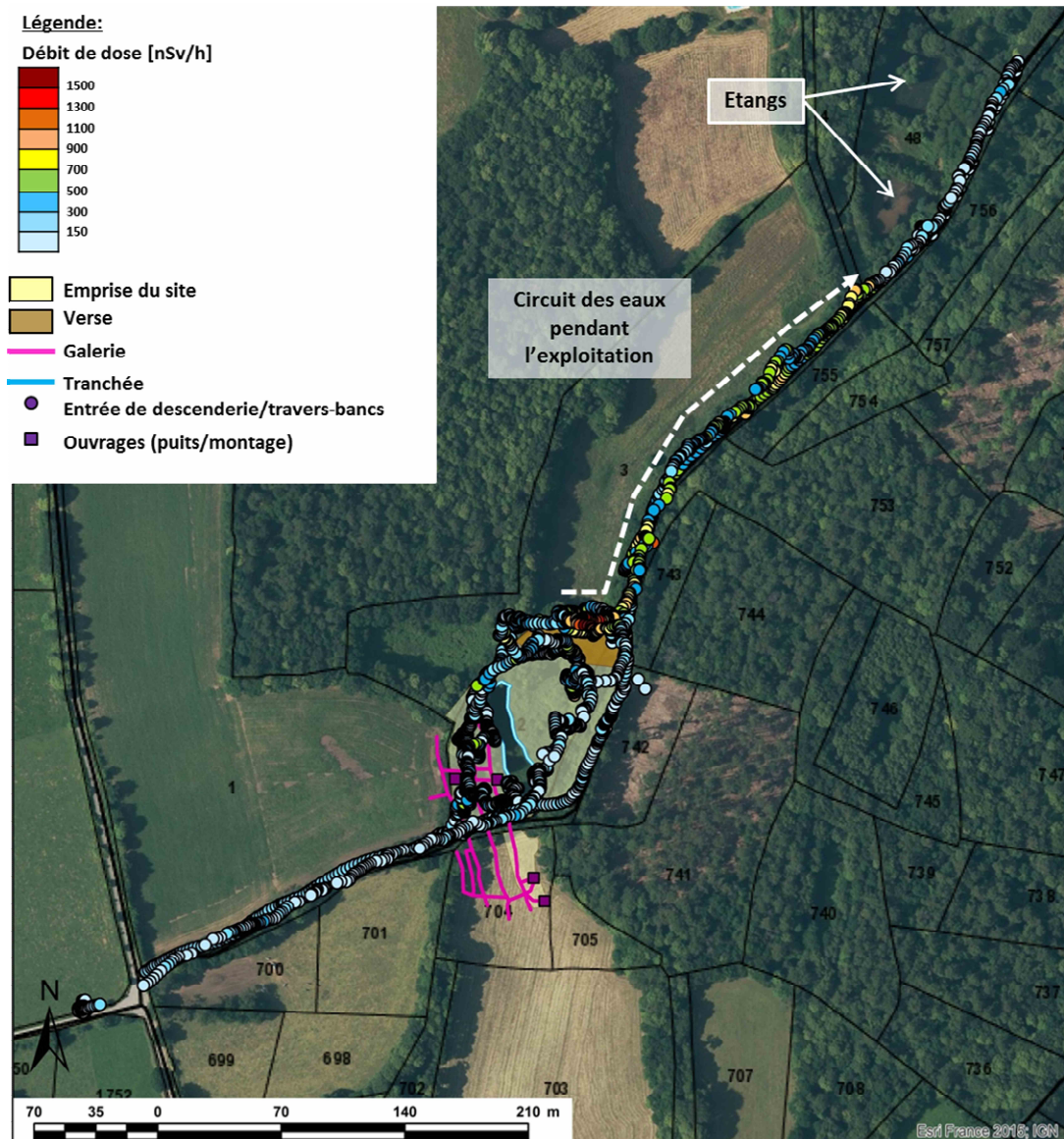


Figure 91 : Plan compteur du site de Rosglas et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31]

Les mesures radiométriques effectuées sur le site (carreau minier, tranchée, verse à stériles) sont de l'ordre de 2 à 4 fois le bruit de fond naturel avec quelques points à plus de 20 fois le bruit de fond naturel au niveau de la verse. Les valeurs relevées au niveau des zones concernées par le circuit des eaux d'exhaure localisées en dehors du périmètre du site sont de l'ordre de 4 à plus de 20 fois le bruit de fond naturel.

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées sur le site de Rosglas et dans son environnement proche à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 92 et Figure 93). L'ancien carreau minier se situant dans un bois envahi par des ronces et des arbustes, les mesures ont été réalisées uniquement au niveau des zones accessibles. Les débits de dose mesurés sur le chemin d'accès, au sud-ouest du site, et autour des étangs au nord sont de l'ordre du bruit de fond. Les mesures réalisées au niveau de l'ancien carreau minier révèlent des débits de dose de l'ordre de 1 à 6 fois le bruit de fond naturel avec quelques valeurs ponctuellement supérieures à 7 fois le bruit de fond naturel. Les débits de dose mesurés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure sont compris entre 4 et plus de 10 fois le bruit de fond naturel. Les mesures effectuées par l'IRSN sont cohérentes avec celles rapportées par Areva Mines (cf. Tableau 42 et Figure 91). Par ailleurs, seul le creux du chemin où se sont écoulées les eaux d'exhaure présente un débit de dose élevé : le talus de part et d'autre de ce dernier présente des valeurs de l'ordre du bruit de fond naturel (cf. Figure 98).



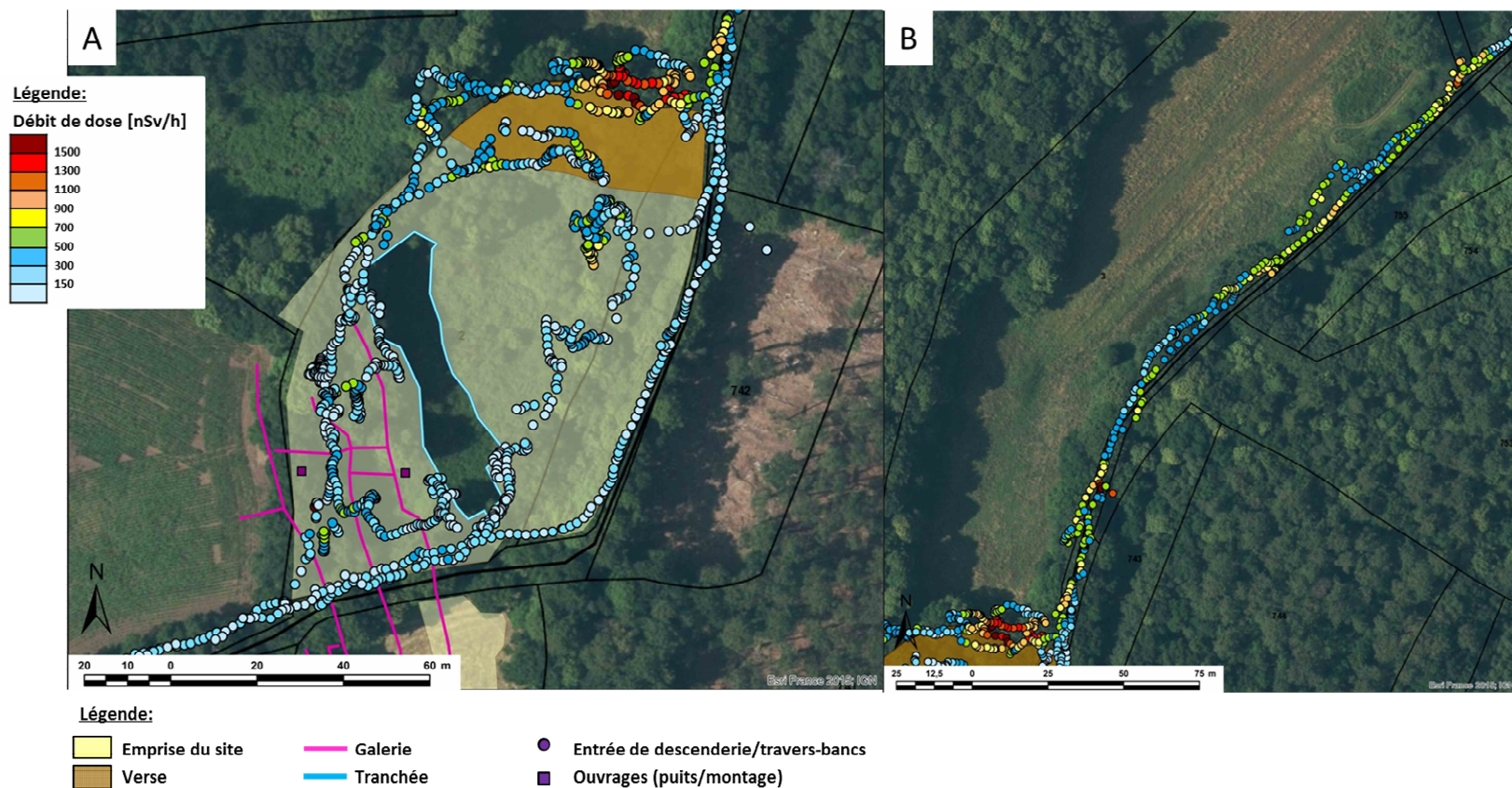


Figure 93 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et dans l'environnement proche du site de Rosglas avec l'outil MARCASSIN ; A-Zoom sur le site, B-Zoom sur le chemin concerné par le circuit des eaux d'exhaure (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à différents prélèvements d'eau dans l'environnement du site (cf. Figure 94) :

- au niveau d'une source localisée au nord, à 300 m en aval du site (Echantillon ROS EXU, prélèvements réalisés en 2011 et dans le cadre de la surveillance 2012-2013, [2, 12]) ;
- dans l'étang n°1 (cf. Figure 88) localisé en aval et au nord du site (Echantillon ROS ETG, prélèvement réalisé en 2011, [2]) ;
- dans le ruisseau qui s'écoule au nord du site et en aval des deux étangs (Echantillon ROS RUB, prélèvement réalisé en 2011, [2]).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, trois prélèvements d'eau ont été effectués par l'IRSN en 2015 dans l'environnement du site de Rosglas (cf. Figure 94 et Figure 95) :

- un prélèvement dans l'étang n°1 (Echantillon 56E_ROS_ETG1). Cet étang avait déjà été échantillonné lors de la visite de l'IRSN en 2009 [7] ;
- un prélèvement dans le ruisseau connectant le premier et le second étang (Echantillon 56E_ROS_RUB) ;
- un prélèvement dans le ruisseau qui s'écoule au nord du site, en aval éloigné du site, au niveau de la D769 (Echantillon 56E_ROS_RUB1).

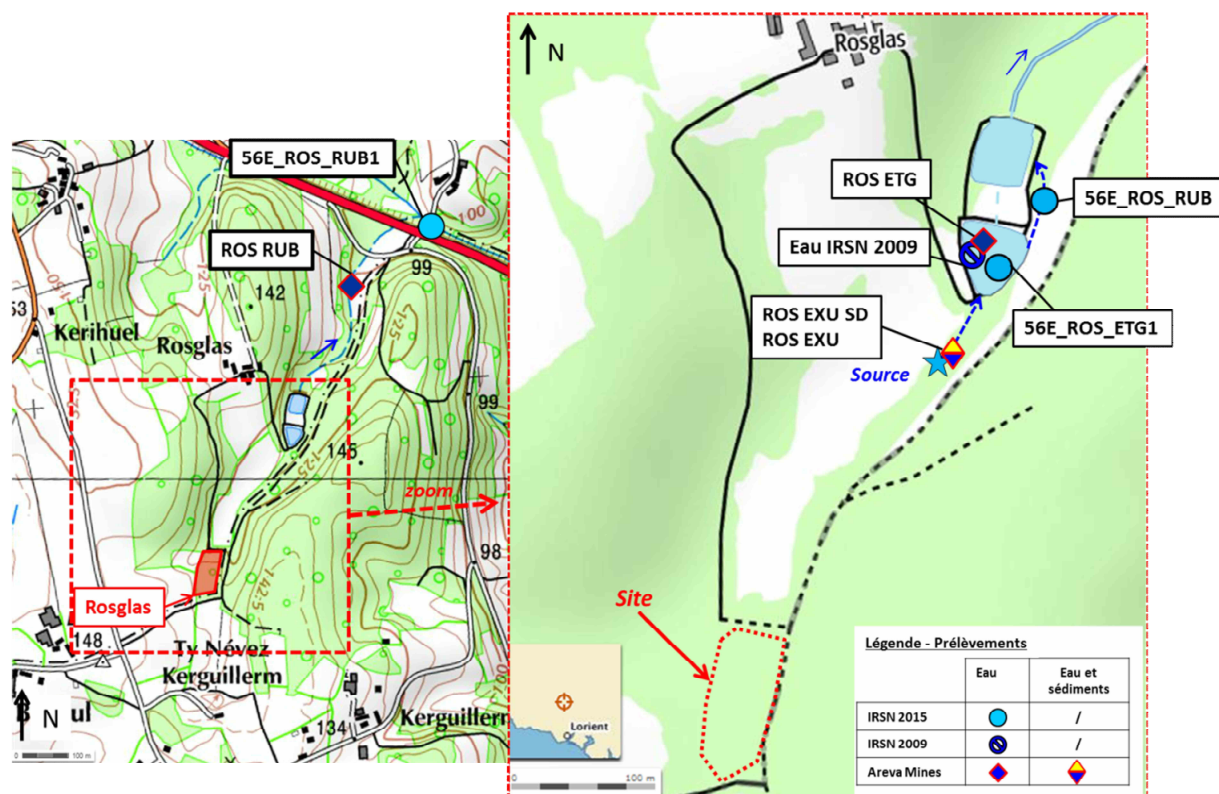


Figure 94 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche de Rosglas (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])

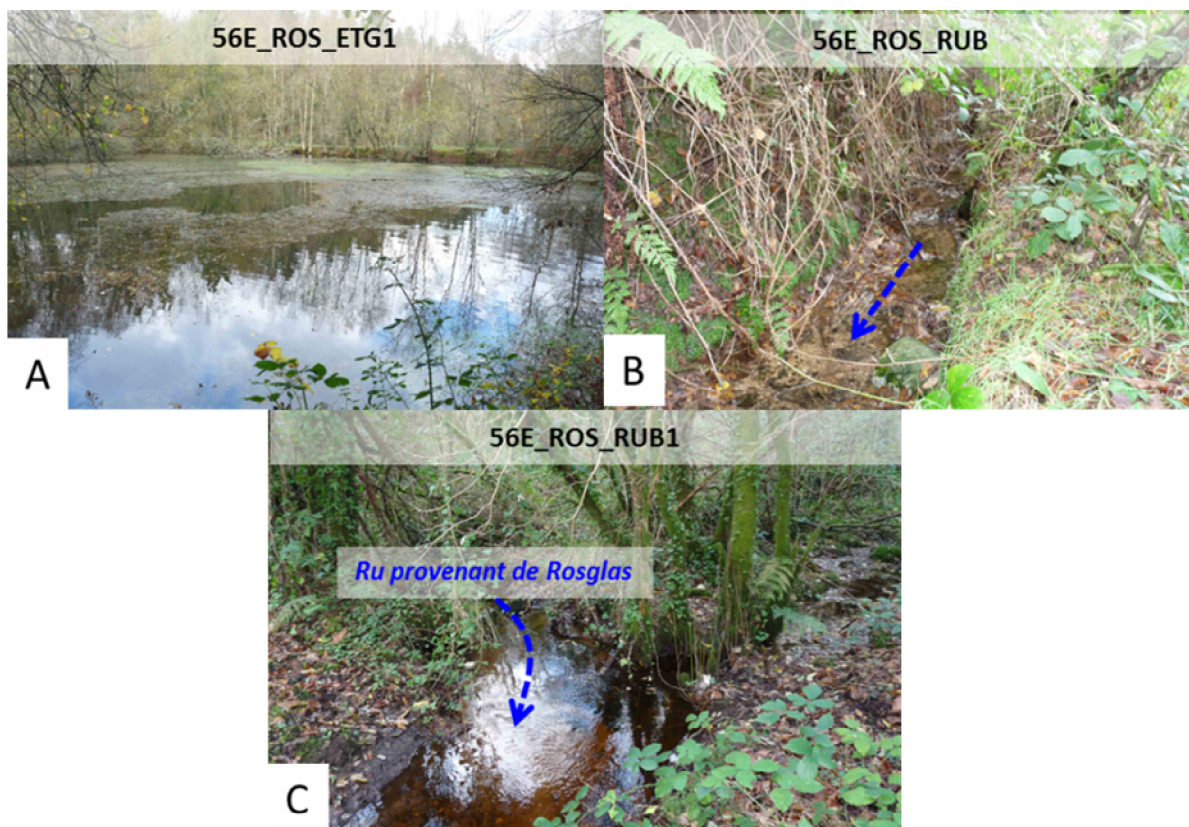


Figure 95 : Photographies des points de prélèvements d'eau de l'IRSN, A- Etang n°1 (Echantillon 56E_ROS_ETG1), B-Ruisseau en aval proche du site (Echantillon 56E_ROS_RUB), C- Ruisseau en aval éloigné du site (56E_ROS_RUB1) (photographies ©IRSN).

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 43.

Tableau 43 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Rosglas

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
ROS EXU	Source localisée en aval du site de Rosglas	Prélèvement au niveau de la source (Areva Mines 2011, [2])	5,6	159	2,7		40	
		Moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines au niveau du point ROS EXU [12]	5,5 [5,3-5,6]	161	3,0 [1-4]		160 [140 - 180]	
ROS ETG	Etang n° 1	Prélèvement dans la surverse de l'étang n° 1 (Areva Mines 2011, [2])	5,4	138	1,1		30	
Eau IRSN 2009		Prélèvement dans l'étang n° 1 (IRSN 2009, [7])	7,4	130	< 0,5		129 ± 15	
56E_ROS_ETG1		Prélèvement dans l'étang n° 1 (IRSN 2015)	5,4	143		1,4 ± 0,1		146 ± 34
56E_ROS_RUB	Prélèvement dans le ruissau reliant l'étang n° 1 et l'étang n° 2 (IRSN 2015)		6,2	125		< 1,0		139 ± 32
ROS RUB	Ruisseau s'écoulant au nord du site	Prélèvement en aval du site de Rosglas (Areva Mines 2011, [2])	6,1	128	3,0		60	
56E_ROS_RUB1		Prélèvement en aval éloigné, en aval du point ROS RUB d'Areva Mines (IRSN 2015)	6,1	155		< 1,0		41 ± 21

Les teneurs en uranium mesurées dans les eaux par Areva Mines et l'IRSN au niveau de l'ensemble des points de prélèvement sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2).

Des activités en radium 226 supérieures d'un facteur 10 environ à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire ont été relevées au niveau de la source et des étangs (ROS EXU, i.e. source, $^{226}\text{Ra} = 160 \text{ mBq.L}^{-1}$, et 56E_ROS_ETG1, $^{226}\text{Ra} = 146 \pm 34 \text{ mBq.L}^{-1}$). Ces activités diminuent avec l'éloignement au site (Echantillon 56E_ROS_RUB1, $^{226}\text{Ra} = 41 \pm 21 \text{ mBq.L}^{-1}$).

Eléments d'analyse :

Le rapport Géoarmor indique que la source qui donne naissance au ruisseau correspond très vraisemblablement à un affleurement de la nappe présente au droit du site [32]. Ainsi, une des origines possible du marquage en radium des eaux de surface au nord du site de Rosglas peut être l'émergence des eaux souterraines drainant le site qui présenteraient une valeur en radium 226 de $610 \pm 100 \text{ mBq.L}^{-1}$ (données du piézomètre du site [31, 32]).

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Areva Mines a procédé à un prélèvement de sédiments en 2011 au niveau de la source (Echantillon ROS EXU SD, cf. Figure 94) [2]. Par ailleurs, l'association Sortir du Nucléaire Cornouaille (SDNC) et la CRIIRAD ont effectué un prélèvement de sédiments en 2008 autour du site de Rosglas [6], au niveau des berges du ruisseau s'écoulant au nord du site. La localisation précise de ce point de prélèvement n'est pas indiquée [6]. Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 44. Pour les échantillons prélevés par SDNC/CRIIRAD, l'activité massique de ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ et celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 44 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et SDNC/CRIIRAD sur les sédiments prélevés en champ proche du site de Rosglas

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en $[\text{Bq.kg}^{-1}]^*$				
		^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi
ROS EXU SD	Prélèvement au niveau de la source localisée en aval du site de Rosglas (Areva Mines 2011, [2])	10 000		5 690		
Echantillon de sédiments de berge	Prélèvement dans le ruisseau s'écoulant au nord du site en aval du site de Rosglas (prélèvement SDNC, analyse CRIIRAD 2008, [6])		950 ± 170		780 ± 100	740 ± 90

*exprimée en masse sèche

Les résultats des mesures réalisées sur les échantillons ROS EXU SD et les sédiments de berge indiquent des activités massiques supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (cf. Annexe 2). Un déséquilibre entre ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur de ^{238}U (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} = 0,6$) est observé pour l'échantillon ROS EXU SD contrairement au deuxième échantillon de sédiments.

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Areva Mines a réalisé en 2012 des prélèvements au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (cf. Figure 96) [31] :

- un prélèvement (Echantillons RC11, RC12 et RC13) à trois profondeurs différentes (0-10 cm, 15-30 cm et 30-45 cm) sur le chemin de randonnée au nord du site ;
- un prélèvement (Echantillons RC21, RC22 et RC23) à trois profondeurs différentes (0-15 cm, 15-30 cm et 30-45 cm) sur le chemin de randonnée qui passe au droit de la verse à stériles.

L'association Sortir du Nucléaire Cornouaille (SDNC) et la CRIIRAD ont effectué un prélèvement de sols en 2008 au niveau du chemin de randonnée, au nord de la verse à stériles du site de Rosglas (dans la même zone que les points de prélèvement Areva Mines RC21, RC22 et RC23 cf. Figure 96, [6]).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, deux prélèvements de sols ont été effectués par l'IRSN au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (56S_ROS_T1 et 56S_ROS_T2 à une profondeur correspondant à environ 2-20 cm, cf. Figure 96 et Figure 97) :

- un prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles (Echantillon 56S_ROS_T1), dans le même secteur que les prélèvements Areva Mines RC21, RC22 et RC23 et celui de l'association SDNC/CRIIRAD. Un prélèvement a également été réalisé par l'IRSN en 2009 dans le même secteur que l'échantillon 56S_ROS_T1 [7] ;
- un prélèvement sur le chemin de randonnée au nord du site (Echantillon 56S_ROS_T2), dans le même secteur que les prélèvements Areva Mines RC11, RC12 et RC13.

Ces deux prélèvements de sols ont le même aspect ; en dessous d'une petite couche d'humus de quelques centimètres d'épaisseur le sol présente une couche plus épaisse de couleur beige.

En outre, un prélèvement de sols a également été effectué par l'IRSN dans un fossé localisé en amont de la source et présentant des débits de dose compris entre 400 et 650 nSv/h (Echantillon 56S_ROS_RUB, cf. Figure 96 et Figure 98). Ce prélèvement ne présentait pas la couche de couleur beige observée dans les échantillons 56S_ROS_T1 et 56S_ROS_T2.

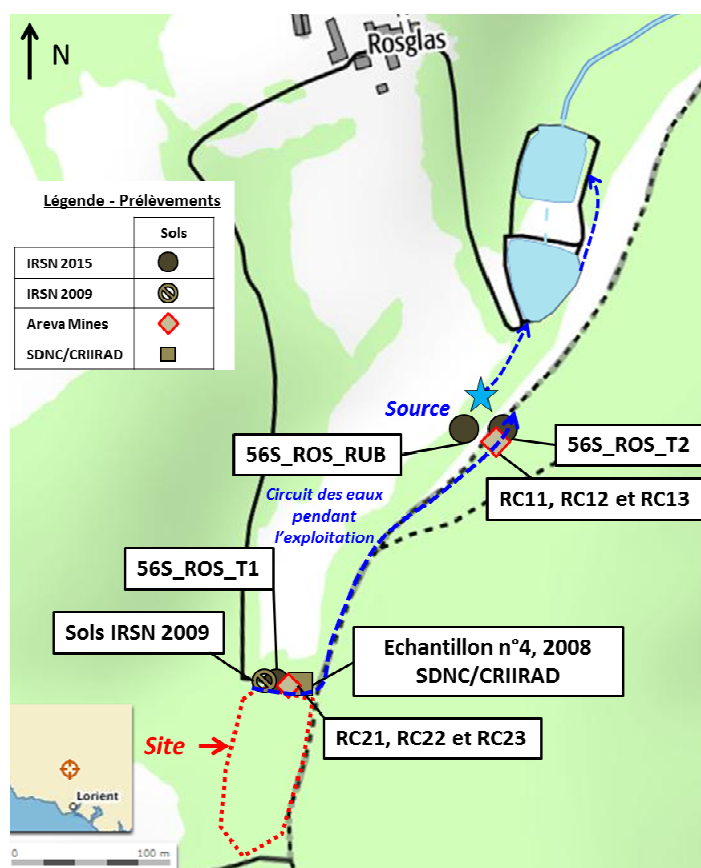


Figure 96 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN, Areva Mines et SDNC/CRIIRAD en champ proche du site de Rosglas (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [3131], IRSN [7] et SDNC/CRIIRAD [6])

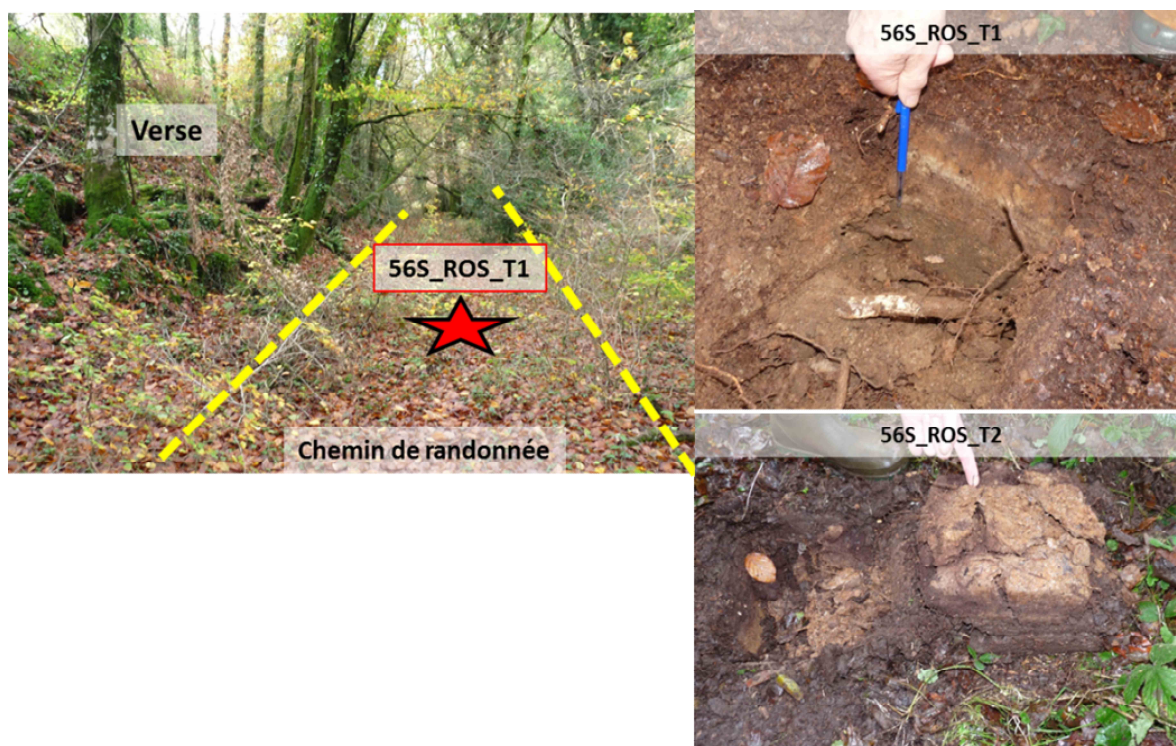


Figure 97 : Photographie des échantillons 56S_ROS_T1 et 56S_ROS_T2 prélevés par l'IRSN en 2015 (photographies ©IRSN)



Figure 98 : Photographie du point de prélèvement de l'échantillon 56S_ROS_RUB (photographies ©IRSN)

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sols sont présentés au Tableau 45. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN et SDNC/CRIIRAD, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 45 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines, l'IRSN et SDNC/CRIIRAD sur les sols prélevés en champ proche du site de Rosglas

			Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
Nom de l'échantillon		Commentaires	²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
RC	11	Prélèvement sur le chemin de randonnée au nord du site à 0-10 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	5 366 ± 2 320		3 409 ± 818		
	12	Prélèvement sur le chemin de randonnée au nord du site à 15-30 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	1 222 ± 530		908 ± 223		
	13	Prélèvement sur le chemin de randonnée au nord du site à 30-45 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	993 ± 432		550 ± 173		
56S_ROS_T2		Prélèvement sur le chemin de randonnée au nord du site, à proximité des échantillons Areva Mines RC11, RC12 et RC13 avec un débit de dose au contact de 1500 nSv/h, à 0-20 cm de profondeur (IRSN 2015)		146 000 ± 21 000		64 000 ± 10 000	63 000 ± 9 000
RC	21	Prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles à 0-15 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	27 816 ± 8 344		58 605 ± 25 342		
	22	Prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles à 15-30 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	27 382 ± 11 887		12 383 ± 4 230		
	23	Prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles à 30-45 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	12 851 ± 5 543		12 570 ± 2 406		
56S_ROS_T1		Prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles, à proximité des échantillons Areva Mines RC21, RC22 et RC23 avec un débit de dose au contact de 2700 nSv/h, à 0-20 cm de profondeur (IRSN 2015)		114 000 ± 16 000		51 000 ± 8 000	50 000 ± 8 000
Sols IRSN 2009		Prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles, à proximité des échantillons Areva Mines RC21, RC22 et RC23 avec un débit de dose au contact de 3070 nSv/h (IRSN 2009, [7])		59 000 ± 4 000		^{(214Pb + 214Bi)/2} 21 000 ± 1 500	
Echantillon n° 4 de sol (3-7 cm)		Prélèvement sur le chemin de randonnée au droit de la verse à stériles à 3-7 cm de profondeur à proximité des échantillons Areva Mines RC21, RC22 et RC23 (CRIIRAD/SDNC 2008, [6])		109 000 ± 12 000		66 000 ± 7 000	60 200 ± 6 000
56S_ROS_RUB		Prélèvement dans un fossé localisé en amont de la source et présentant des débits de dose compris entre 400 et 650 nSv/h (IRSN 2015)		12 700 ± 1 900		7 300 ± 1 100	7 200 ± 1 100

*exprimée en masse sèche

Sols prélevés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure :

Les résultats des mesures réalisées sur les échantillons de sols indiquent des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (plus de 100 fois pour l' ^{238}U et le ^{226}Ra pour les échantillons RC21, 56S_ROS_T1 ou l'échantillon de SDNC/CRIIRAD par exemple, cf. Tableau 45). Ces valeurs sont cohérentes avec les informations obtenues notamment par la mesure des débits de dose à savoir un marquage des sols concernés par la circulation des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (cf. § 3.2.1 de la présente annexe).

Par ailleurs, les échantillons RC11, RC12 et RC13 prélevés par Areva Mines présentent des activités massiques qui diminuent avec la profondeur (cf. Figure 99). Cette diminution est moins nette pour les échantillons RC21, RC22 et RC23. De plus, pour la zone située au pied de la verse les valeurs des activités massiques à 30-45 cm de profondeur (Echantillon RC23) sont encore nettement supérieures à celles observées dans le milieu naturel pour les radionucléides mesurés (60 fois pour l' ^{238}U et le ^{226}Ra) : la couche de sol présentant des valeurs des activités massiques élevées est probablement plus épaisse dans la zone située au pied de la verse.

En outre, les activités massiques mesurées dans les vingt premiers centimètres peuvent être différentes d'un échantillon à l'autre. En effet si les activités massiques mesurées au point 56S_ROS_T1 sont du même ordre de grandeur que celles mesurée par SDNC/CRIIRAD (cf. Tableau 45 et Figure 99), elles sont en revanche plus élevées que celles rapportées par Areva Mines en 2012 et l'IRSN en 2009 dans la même zone. De même les activités massiques mesurées au point 56S_ROS_T2 par l'IRSN en 2015 sont plus élevées que celles obtenues aux points RC11 et RC12. Ces résultats mettent en évidence l'hétérogénéité des activités massiques dans le sol en fonction de la zone de prélèvement (cf. Tableau 45 et Figure 99).

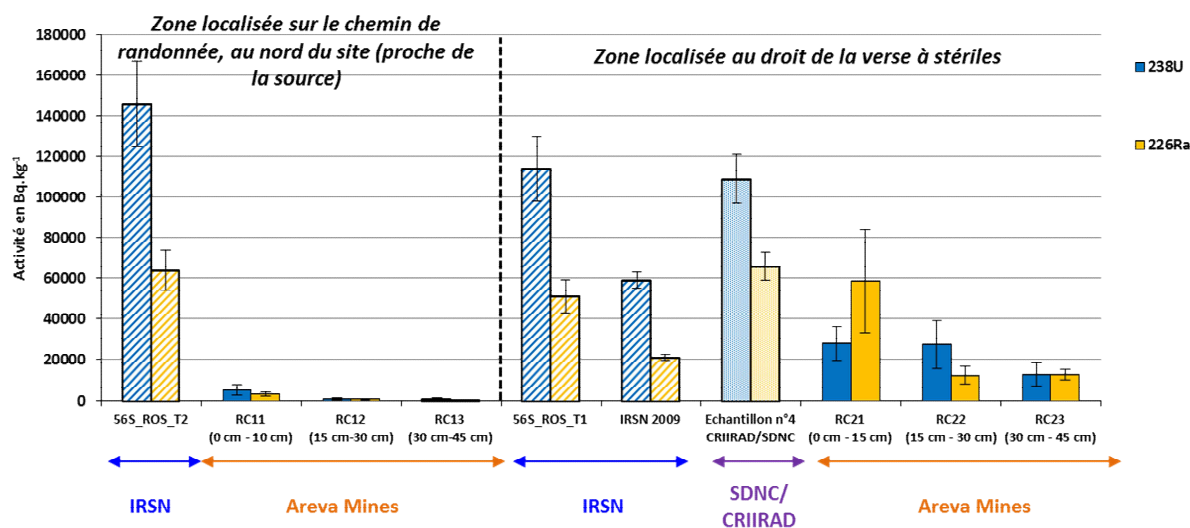


Figure 99 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012, l'IRSN en 2015 et SDNC/CRIIRAD en 2008 au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure

Sols prélevés dans le fossé :

Les résultats des mesures réalisées sur l'échantillon 56S_ROS_RUB indiquent des activités massiques supérieures (environ 63 fois pour l' ^{238}U et 36 fois le ^{226}Ra) à celles généralement observées dans le milieu

naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés ainsi qu'un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur de l' ^{238}U (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} = 0,6$, cf. Annexe 2).

**Annexe 10: Fiche d'observations de terrain, de mesures
radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les
anciens sites miniers du Morbihan : Site de Salle Ponto**

Site de Salle Ponto

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	/
Département	Morbihan (56)		
Commune	Melrand		
Cadastre	<u>Commune de Melrand</u> : section Y101 parcelle 138 (cf. Figure 101)		
Propriété	Privée		
Surface du site	/		

Source principale : Areva Mines [2]

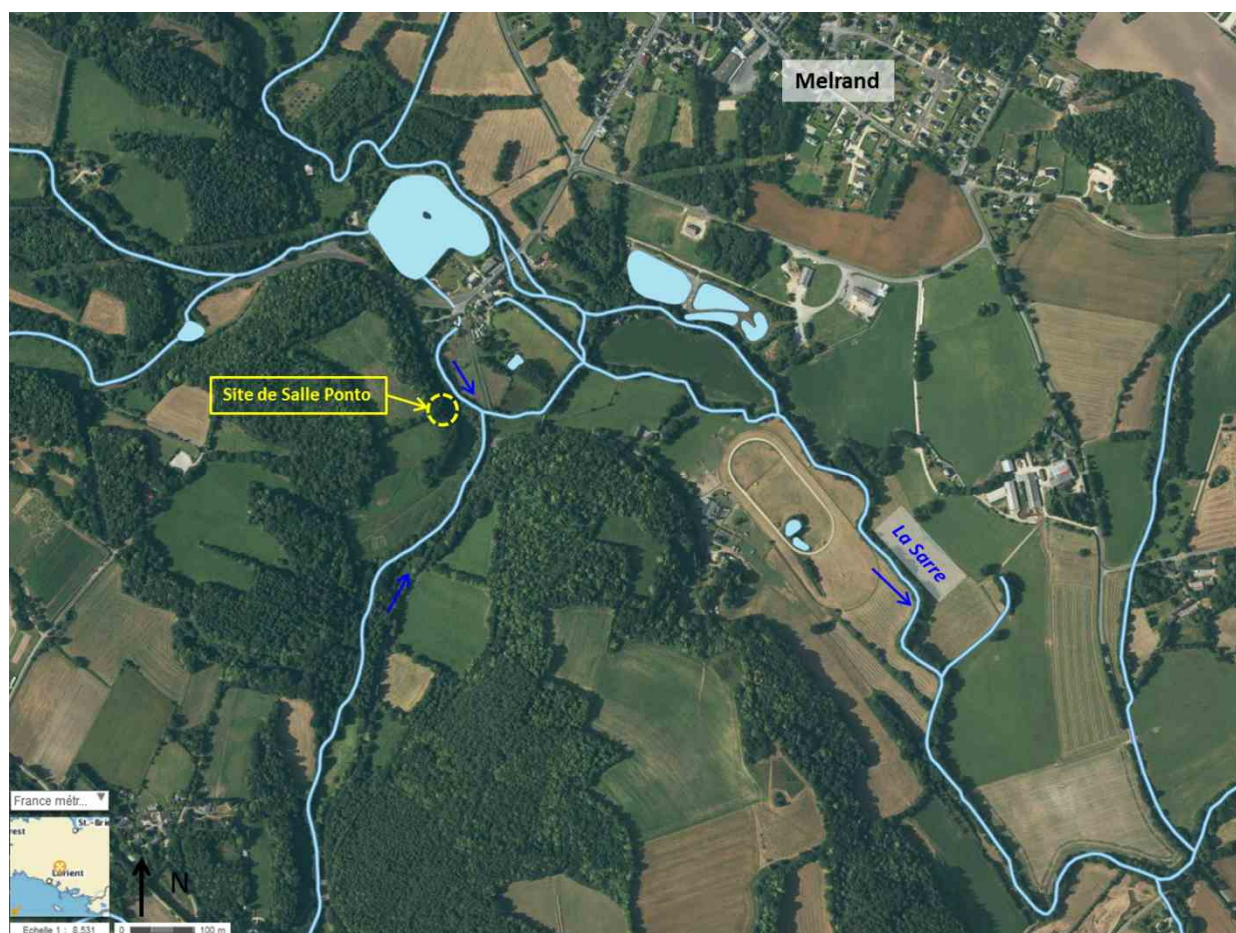


Figure 100 : Vue aérienne du site de Salle Ponto, en jaune l’emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux de Reconnaissance par Petits Chantiers (TRPC) : ils comprenaient plusieurs tranchées, un travers-banc de 12 m et un puits de 7 m de profondeur dans le travers-banc.
Période d'exploitation	1956 à 1957
Production d'uranium [T]	Pas d'information disponible
Lieu de traitement du minéral	Pas d'information disponible
Réaménagements réalisés	Les 4 premiers mètres du travers-banc sont accessibles et les 8 derniers mètres ont été comblés avec du remblai.
Fin des réaménagements	Pas d'information disponible
Servitudes	Pas d'information disponible
Autres	Il n'y a pas de verse à stériles sur le site, mais le BE d'Areva Mines indique la présence d'une plateforme qui a servi de dépôts de stériles miniers devant l'entrée de la galerie. Elle se prolongerait vers le nord le long de la pente sur une longueur de 50 m et sur 3 m de large.

Source principale : Areva Mines [2]

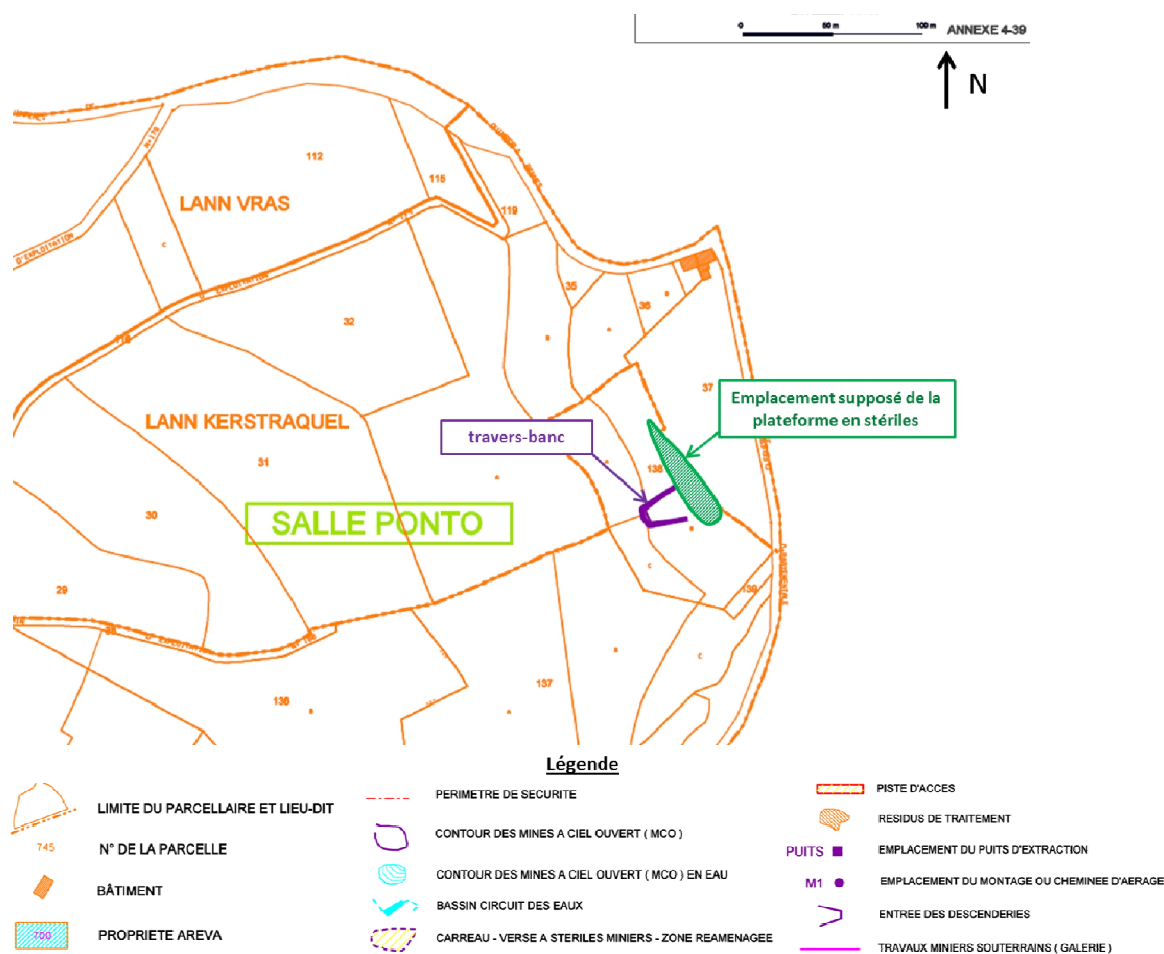


Figure 101 : Situation des travaux miniers du site de Salle Ponto sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Salle Ponto est localisé à 0,8 km au sud-ouest de Melrand (cf. Figure 102). Deux ruisseaux coulent au sud et à l'est du site et rejoignent la Sarre une centaine de mètres au sud-est du site. Cette dernière se jette dans le Blavet.

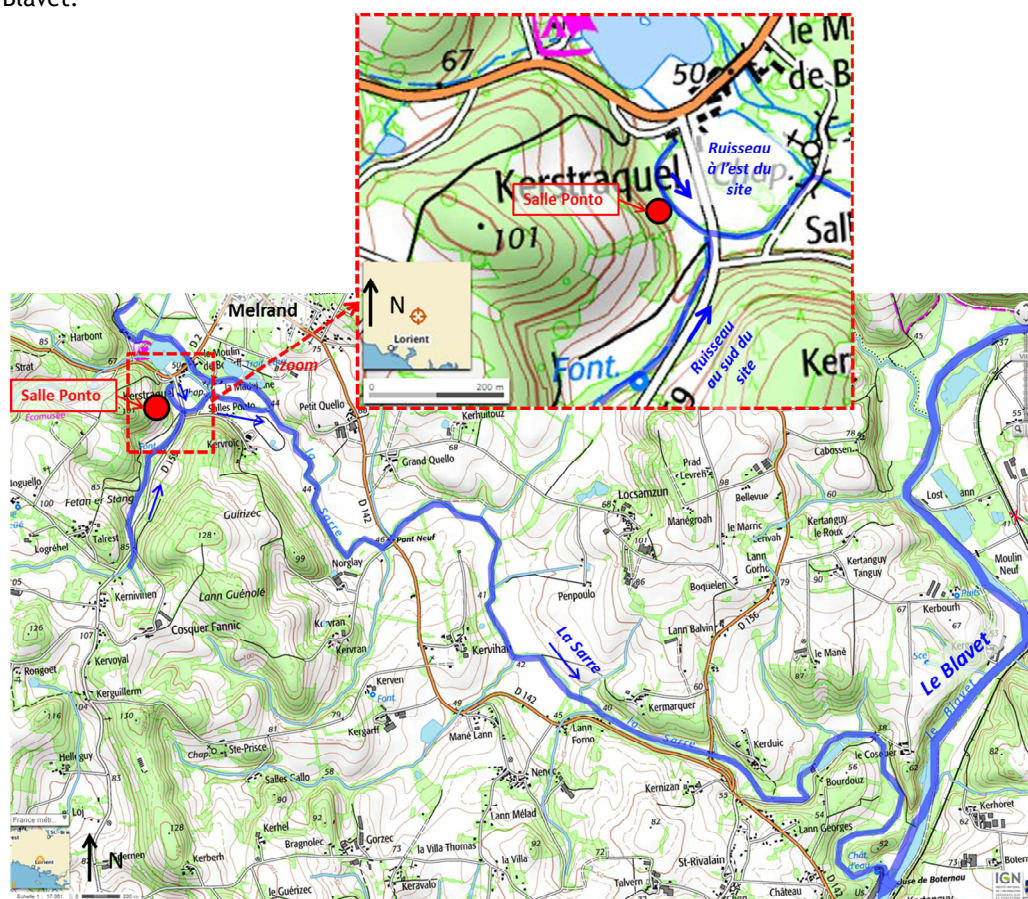


Figure 102: Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Salle Ponto ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
16 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<u>Sur site</u> : Effectuer des mesures radiométriques, préciser l'usage et l'accès au site	
<u>Champ proche</u> : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site	
Personnes présentes	
M. le Maire de Melrand et le propriétaire de la parcelle	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Travers-banc	X = 244 035 ; Y = 6 781 318

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le site de Salle Ponto est localisé sur une parcelle privée à flanc de coteau sans usage constaté lors de la visite de l'IRSN en 2015. Le propriétaire a indiqué qu'il débroussaillait la parcelle lorsque nécessaire. L'entrée du travers-banc, localisée dans un bois, est large et accessible (cf. Figure 103). Par ailleurs, lors de la visite de l'IRSN, le propriétaire a indiqué qu'à la fin de l'exploitation minière, l'entrée du travers-banc était positionnée quelques mètres plus en avant (cf. Figure 103) et que cette dernière s'était effondrée.



Figure 103 : Photographies du site de Salle Ponto et de l'entrée du travers-banc en 2015 (photographies ©IRSN)

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiométriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiométriques ont été réalisées par Areva Mines en 2012 sur le site de Salle Ponto au niveau de l'entrée du travers-banc (cf. Tableau 46) [2].

Tableau 46 : Résultats des mesures radiométriques effectuées par Areva Mines en 2012 sur le site de Salle Ponto [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPγ [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-110
Entrée du travers-banc	800-1 200

Les valeurs mesurées à l'entrée de la galerie sont de l'ordre 10 fois le bruit de fond naturel.

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées sur le site de Salle Ponto à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 104). Les mesures révèlent des valeurs de l'ordre de 1 à 3 fois le bruit de fond naturel sur la parcelle 138. Cependant, des débits de dose plus élevés ont été mesurés notamment au niveau de l'entrée du travers-banc (entre 800 et 1 200 nSv/h sur une dizaine de mètres carrés) et au niveau d'une partie de la plateforme en stériles localisée au droit de l'entrée du travers-banc, qui présente des débits de dose d'environ 3 à 6 fois le bruit de fond naturel. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines (cf. Tableau 46).

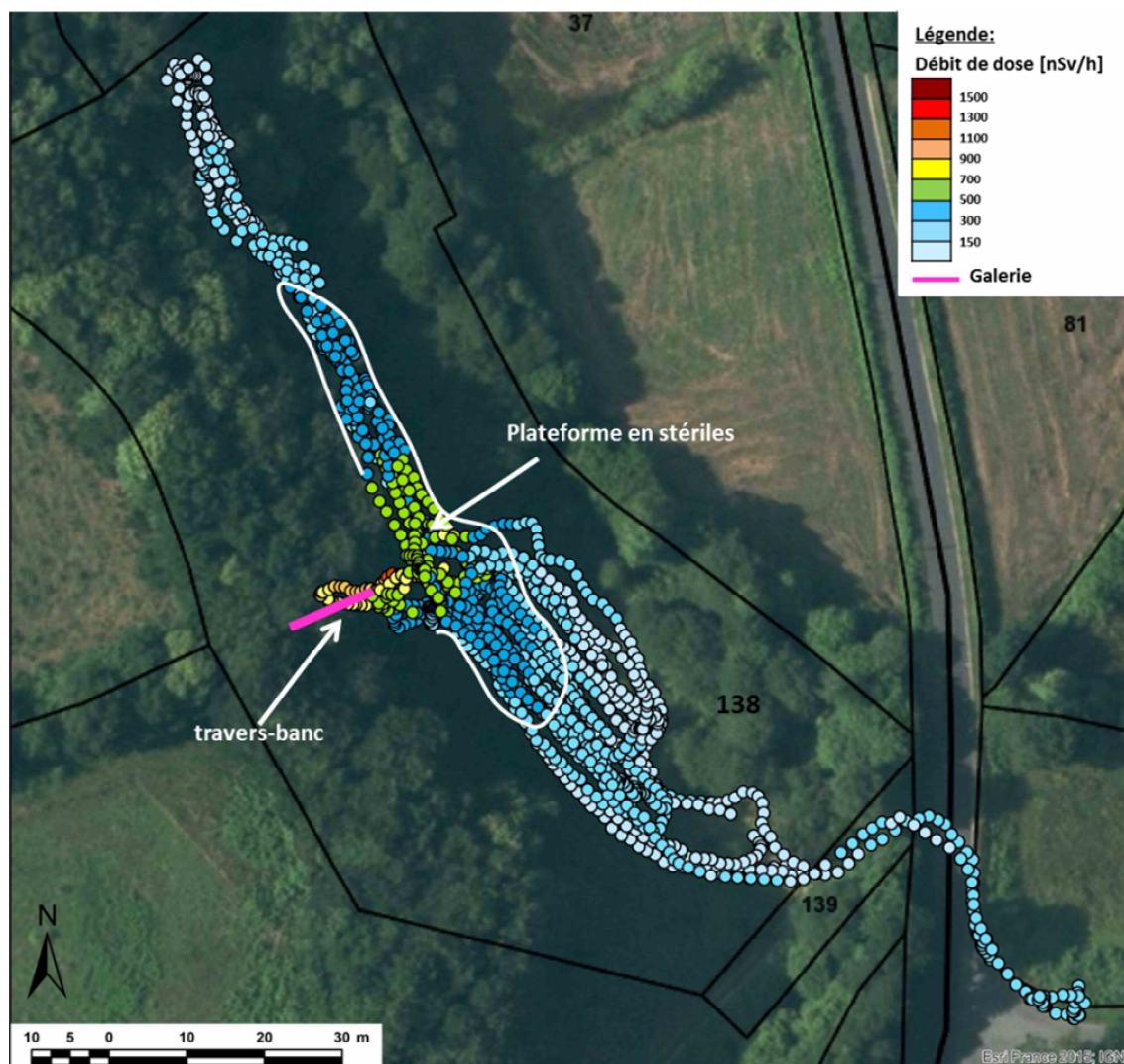


Figure 104 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur le site de Salle Ponto avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN, tracé des travaux miniers ©Areva Mines)

Les mesures réalisées par l'IRSN permettent également de délimiter la plateforme en stériles mentionnée dans le BE où les valeurs mesurées sont comprises entre 300 et 700 nSv/h sur 50 m de long environ avec une zone de 100 m² (20 m x 5 m) environ où les débits de dose sont compris entre 500 et 700 nSv/h (cf. Figure 104).

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2012, Areva Mines a procédé à un prélèvement d'eau en aval immédiat du site dans le ruisseau s'écoulant à l'est du site de Salle Ponto (échantillon SPO RUB, cf. Figure 105) [2]. Dans le cadre des contrôles de second niveau, l'IRSN a réalisé trois prélèvements d'eau dans l'environnement du site de Salle Ponto (cf. Figure 105 et Figure 106) :

- un prélèvement dans le ruisseau s'écoulant à l'est du site, à proximité du point Areva Mines SPO RUB (Echantillon 56E_SPO_RUB1) ;
- un prélèvement dans le ruisseau s'écoulant au sud du site (Echantillon 56E_SPO_RUB2) ;
- un prélèvement dans une source localisée à une cinquantaine de mètres au nord-ouest du site (Echantillon 56E_SPO_SCE).

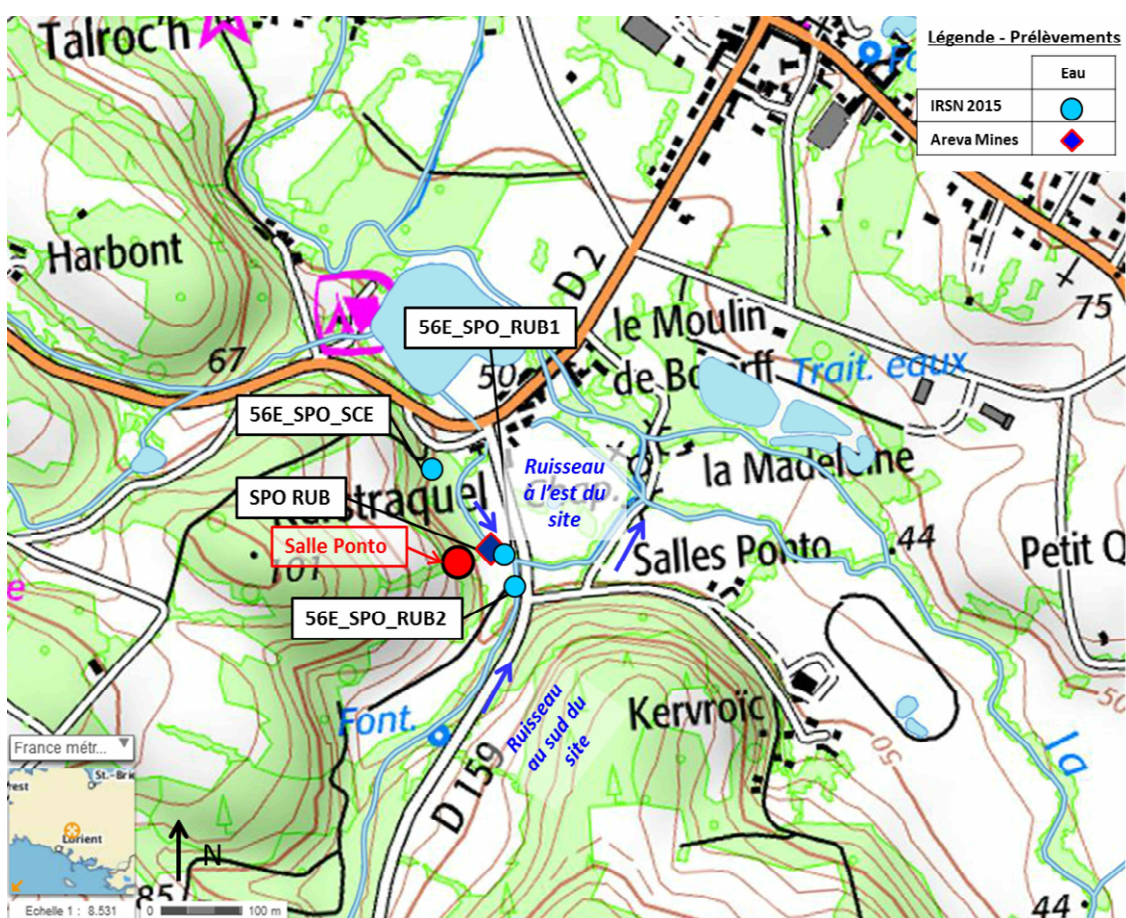


Figure 105 : Localisation des points de prélèvements d'eau effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Salle Ponto (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2])



Figure 106 : Photographies des points de prélèvements d'eau réalisés par l'IRSN en champ proche de du site de Salle Ponto (photographies ©IRSN)

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 47.

Tableau 47 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Salle Ponto

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]	$^{238}\text{U}_{\text{dissous}}$ [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]	U_{total} [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{dissous}}$ [$\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$]	$^{226}\text{Ra}_{\text{total}}$ [$\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$]
SPO RUB	Ruisseau qui s'écoule à l'est du site	En aval du site de Salle Ponto (Areva Mines 2012, [2])	6,6	101	1,2		< 20	
56E_SPO_RUB1		A proximité du point prélèvement SPO RUB (IRSN 2015)	7,3	201		< 1		< 7
56E_SPO_RUB2	Ruisseau qui s'écoule au sud du site, prélèvement en aval du site de Salle Ponto (IRSN 2015)		7,3	201		< 1		14 ± 8
56E_SPO_SCE	Source localisée à une cinquantaine de mètres au nord-ouest du site (IRSN 2015)		7,5	156		< 1		19 ± 15

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées par Areva Mines et l'IRSN dans l'environnement du site de Salle Ponto sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). La mesure réalisée au point 56E_SPO_RUB1 est cohérente avec celle obtenue par Areva Mines en 2012 (cf. Tableau 47).

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Aucune mesure n'a été réalisée dans les sédiments par Areva Mines dans le cadre du BE et par l'IRSN dans le cadre des contrôles de second niveau dans l'environnement du site de Salle Ponto.

**Annexe 11: Fiche d'observations de terrain, de mesures
radiométriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les
anciens sites miniers du Morbihan : Site de Mane Mabo**

Site de Mane Mabo

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	/
Département	Morbihan (56)		
Commune	Quistinic		
Cadastre	Propriété non Areva Mines : Commune de Quistinic, section ZE parcelles 49 et 46. (cf. Figure 108)		
Propriété	Privée		
Surface du site	0 ha 25 a		

Source principale : Areva Mines [2]

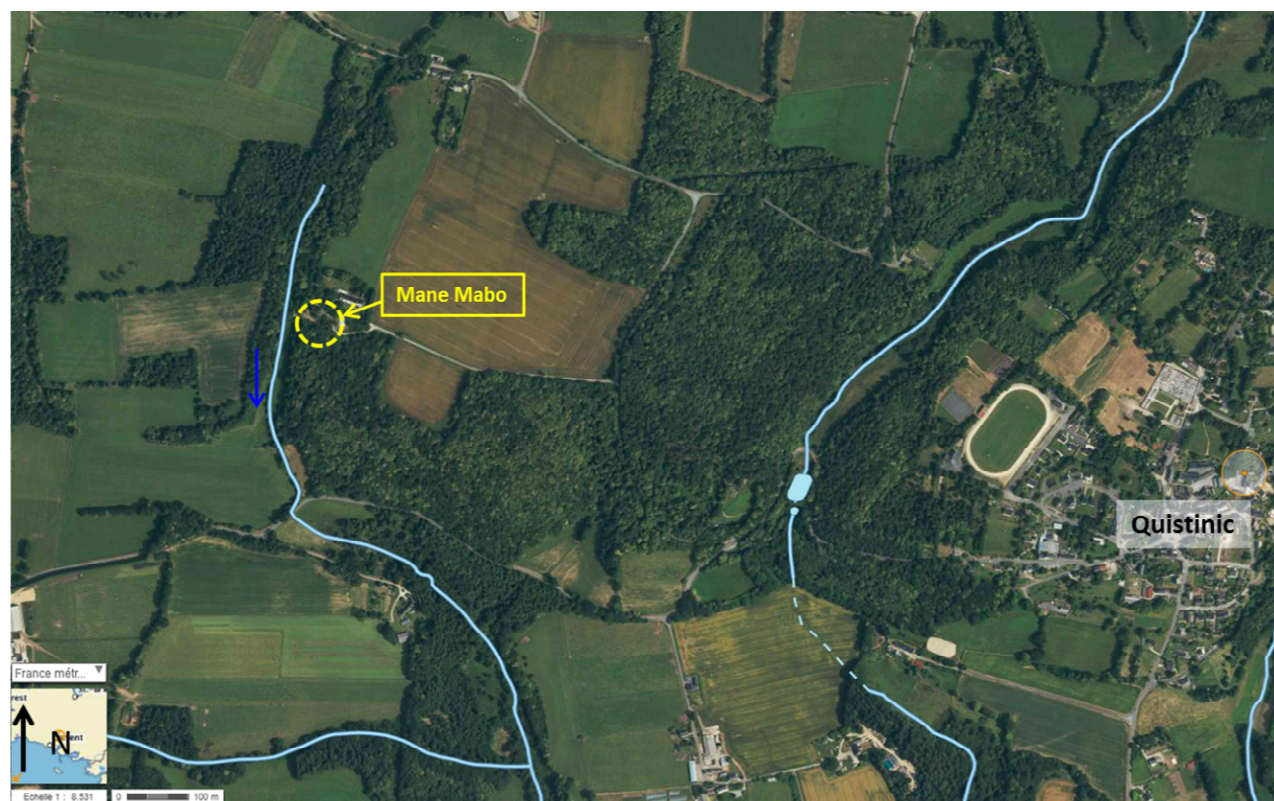


Figure 107 : Vue aérienne du site de Mane Mabo, en jaune l’emprise du site (sur fonds Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers Souterrains (TMS) : ils comprenaient un puits et des galeries réparties sur trois niveaux (N-15, N-31 et N-47).
Période d'exploitation	1961 à 1964
Production d'uranium [T]	Pas d'informations disponibles
Lieu de traitement du minerai	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	TMS : Une dalle en béton de 6 m de large et 7 m de longueur a été mise en place sur le puits. La date de ce réaménagement est inconnue.
Fin des réaménagements	/
Servitudes	/
Autres	/

Source principale : Areva Mines [2]

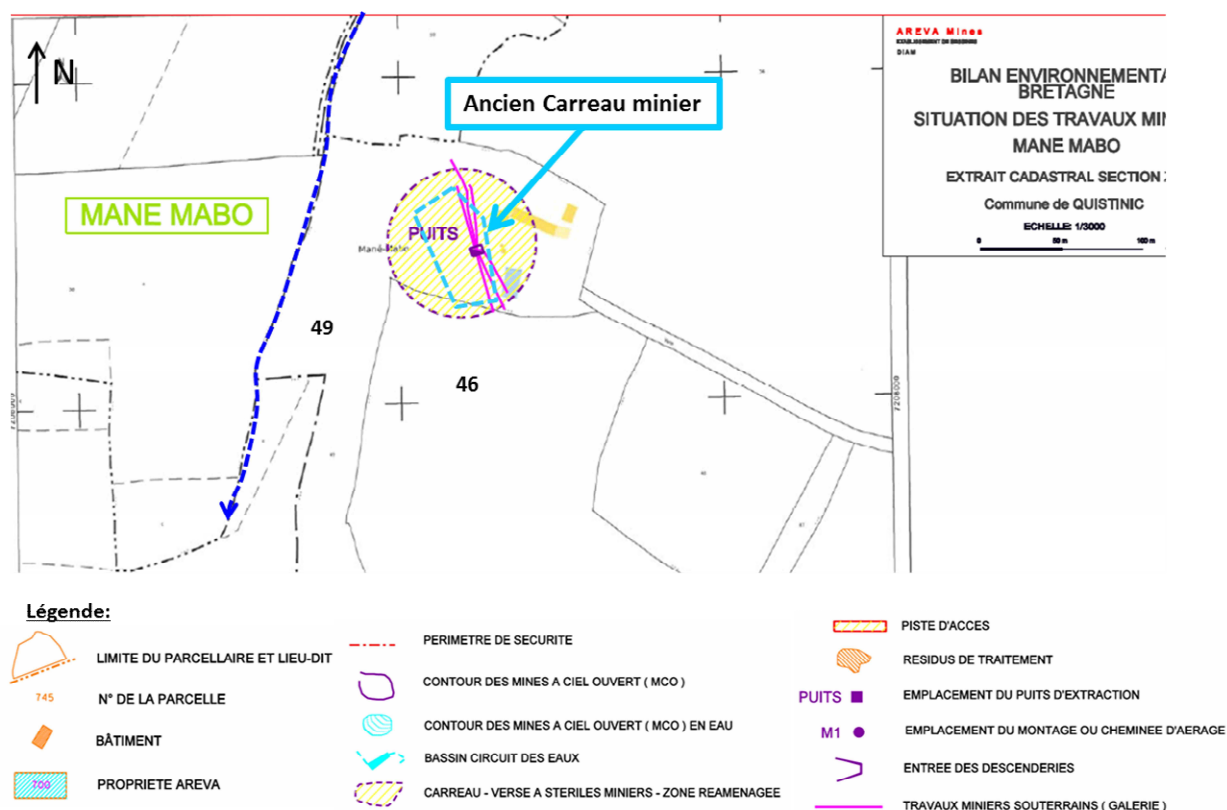


Figure 108 : Situation des travaux miniers du site de Mane Mabo sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Mane Mabo est localisé à 1,3 km à l'ouest de Quistinic (cf. Figure 109). Il est drainé par un ruisseau, affluent du Blavet et s'écoulant à 100 m à l'ouest du site (cf. Figure 109).

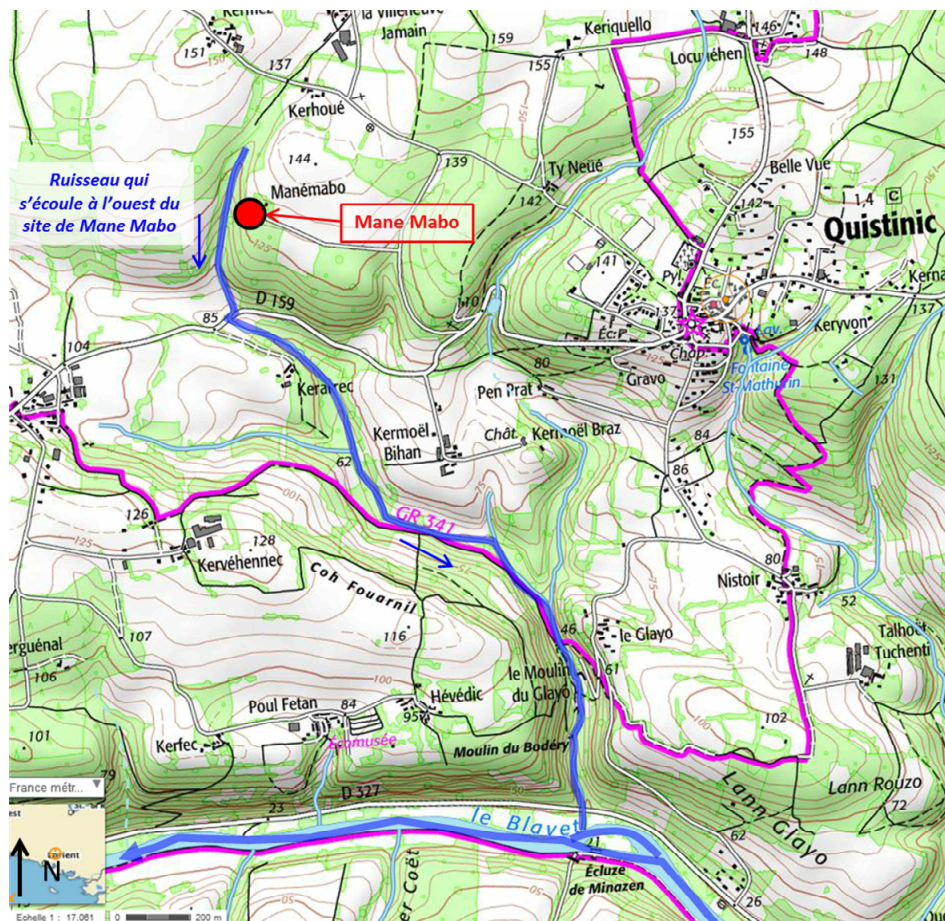


Figure 109 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Mane Mabo ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
19 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<u>Sur site</u> : Effectuer des mesures radiométriques, préciser l'usage et l'accès au site	
<u>Champ proche</u> : Prélever des échantillons d'eau et de sédiments en aval du site	
Personnes présentes	
/	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Puits	X = 240 674 ; Y = 6 774 294

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le site est entouré de bois et se situe au niveau du lieu-dit Manémabo. Une maison habitée avec jardin se trouve sur une partie de l'emprise de l'ancien site (cf. Figure 110). Un poulailler et un potager sont présents à proximité de l'ancien puits qui est recouvert par une dalle de béton. L'accès au site se fait par un chemin qui longe la partie sud du jardin et qui mène à l'ancien carreau minier. Ce dernier est débroussaillé et sert de zone d'entreposage de divers matériaux et objets (bois, voiture, etc., cf. Figure 110 et Figure 111).

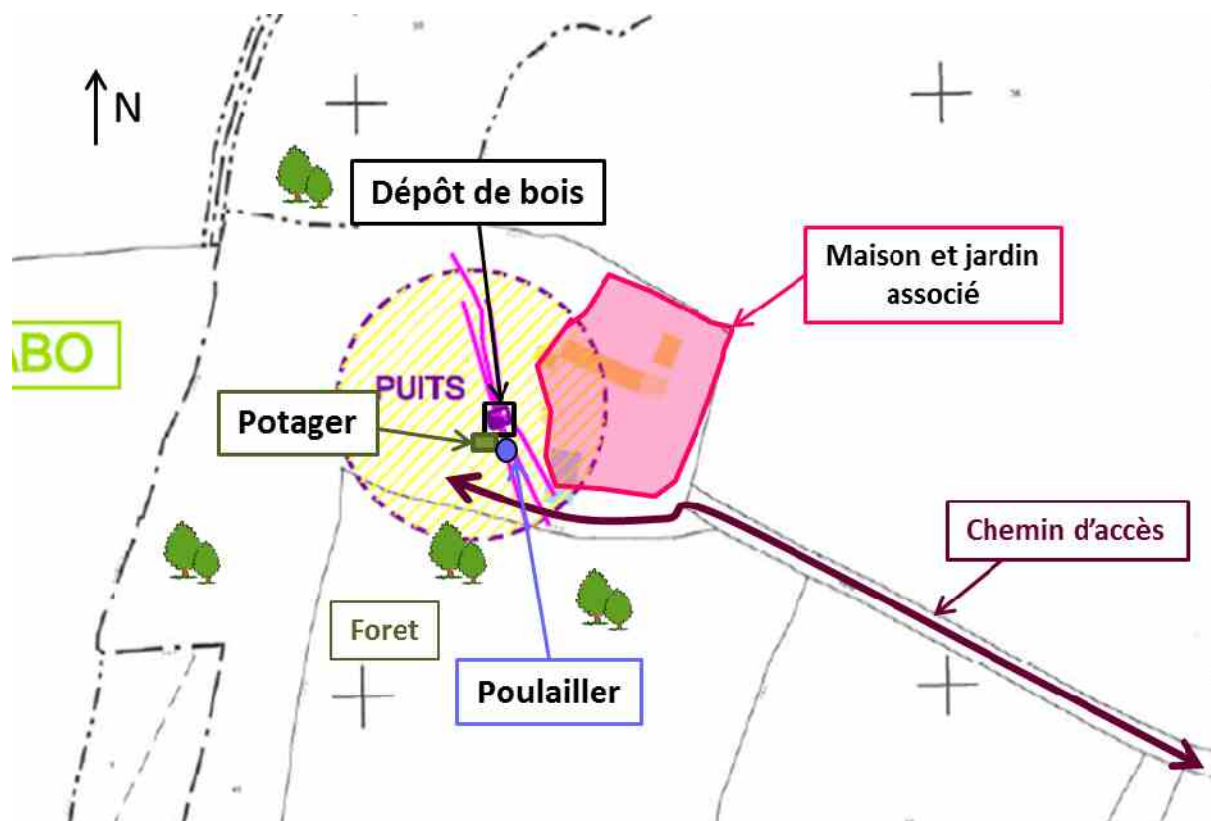


Figure 110 : Usages développés sur et dans l'environnement proche du site de Mane Mabo observés par l'IRSN en 2015 (localisation des usages sur plan cadastral [2])

Le propriétaire utilise la dalle en béton qui se trouve à l'aplomb du puits comme zone de dépôt de bois de chauffage (cf. Figure 110 et Figure 111).

Dans la partie sud du site un tas de stériles a été observé lors de la visite de l'IRSN (cf. Figure 111) : ce dernier a été signalé dans le rapport « Etude radiologique des anciens sites miniers uranifères du Morbihan » réalisé par Subatech et nommé en tant que verse à stériles [31]. Cette appellation n'est pas reprise dans le BE d'Areva Mines et ce tas de stériles n'est pas considéré en tant que verse dans le rapport « Recensement des verses à stériles » qu'Areva Mines a fourni dans le cadre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2013-2015 [35].

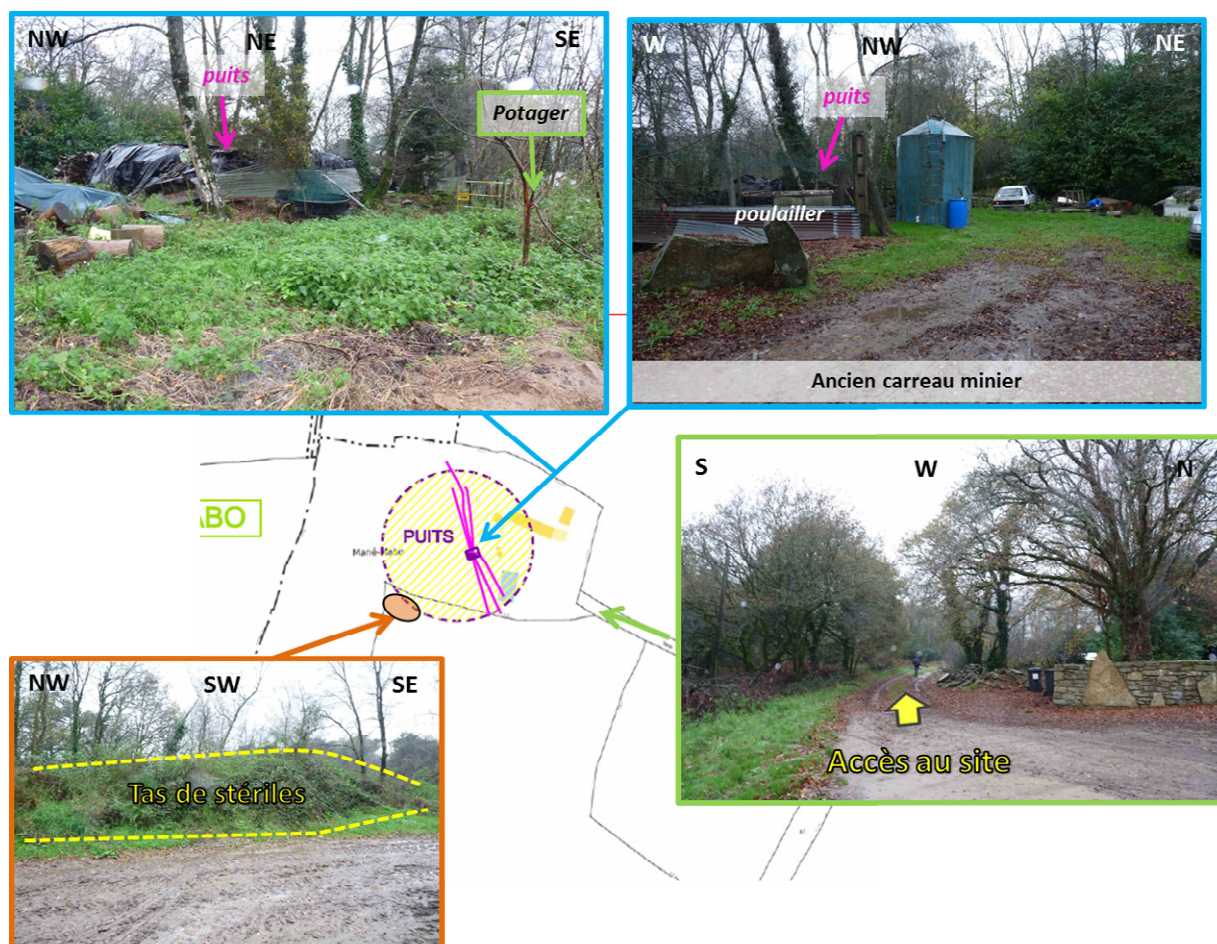


Figure 111 : Photographies du site de Mane Mabo (localisation des clichés sur plan cadastral [2], photographies ©IRSN)

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiamétriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiamétriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 dans le cadre du BE sur le site de Mane Mabo autour de la maison et au niveau de l'ancien carreau minier (cf. Tableau 48) [2]. Ces mesures ont été complétées, en 2011 et 2013, par la réalisation d'un plan compteur (cf. Figure 112) [31].

Tableau 48 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Mane Mabo [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Autour de l'ancien puits et carreau minier	400-1 300
Autour de la maison d'habitation	200-400 (ponctuellement 800-1 000)
Reste du site	150-250 (ponctuellement 1 200)

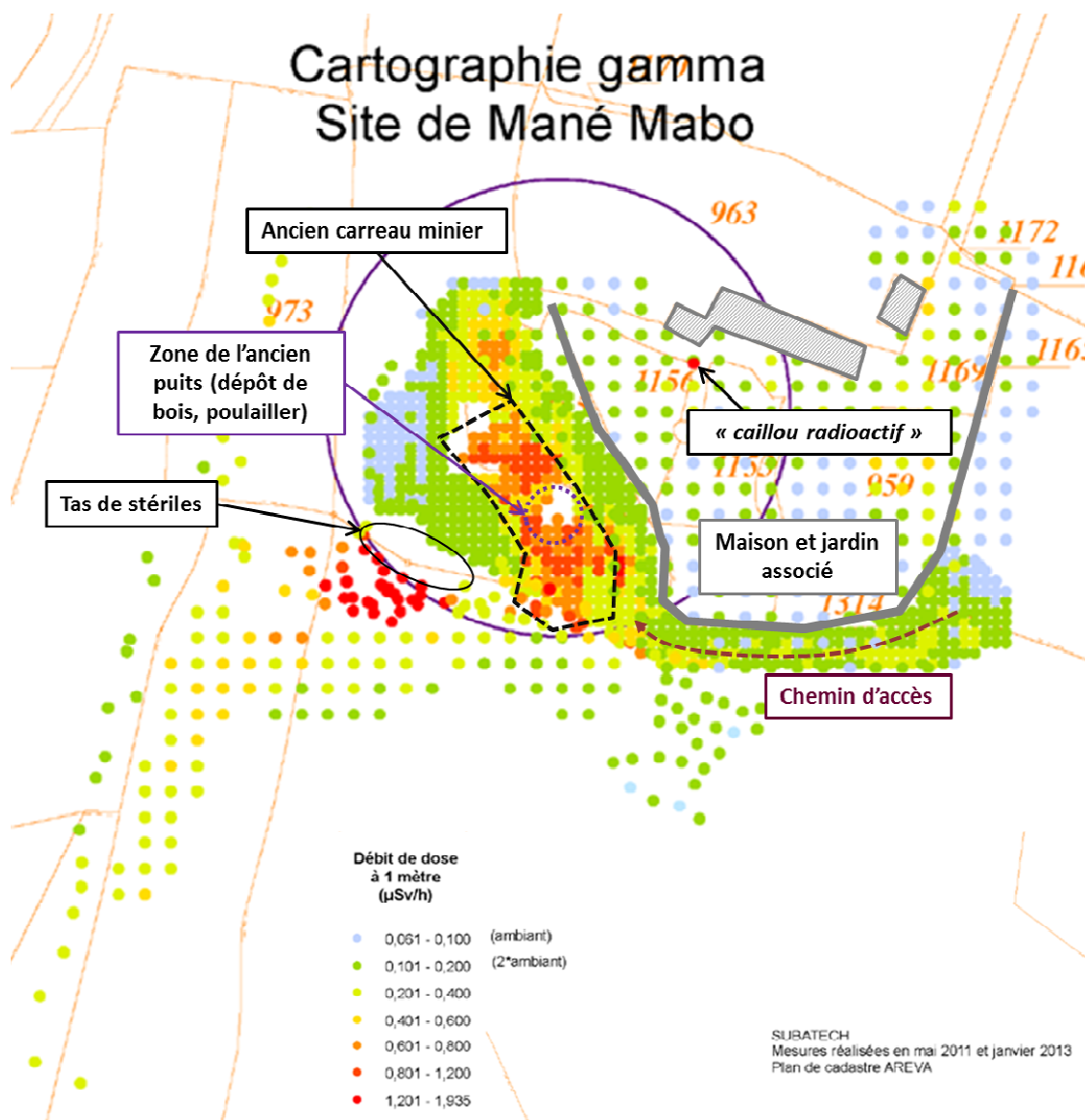


Figure 112 : Plan compteur du site de Mane Mabo et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2011 et 2013 [31]

Les débits de dose mesurés sur l'ancien carreau minier sont de l'ordre de 4 à 10 fois le bruit de fond naturel. Autour du tas de stériles les valeurs peuvent être supérieures à 10 fois le bruit de fond naturel en particulier au sud-ouest de ce dernier. Les valeurs relevées sur le chemin d'accès au site et autour de la maison sont de l'ordre de 2 à 3 fois le bruit de fond naturel avec un point à 10 fois le bruit de fond naturel autour de la maison (cf. Figure 112). Ce point a été décrit par Areva Mines comme de petite surface (10 x 10 cm) sur la pelouse, probablement généré par la présence « d'un caillou radioactif » [31].

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées par l'IRSN sur le site de Mane Mabo et dans son environnement proche à l'aide de l'outil MARCASSIN (cf. Figure 113). Une partie des parcelles 46 et 49 présentant une forte pente et des roches roulantes, les mesures n'ont pu être réalisées qu'au niveau du carreau minier et du chemin d'accès. La cartographie des débits de dose obtenue révèlent des valeurs de l'ordre de 4 à plus de 10 fois le bruit de fond naturel au niveau de l'ancien carreau minier et dans la pente en dessous du tas de stériles. Les valeurs de débits de dose mesurées sur le chemin d'accès sont de l'ordre de 1 à 3 fois le bruit de fond naturel avec une

augmentation des débits de dose à l'approche du carreau minier. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées par Areva Mines (cf. Tableau 48 et Figure 112).

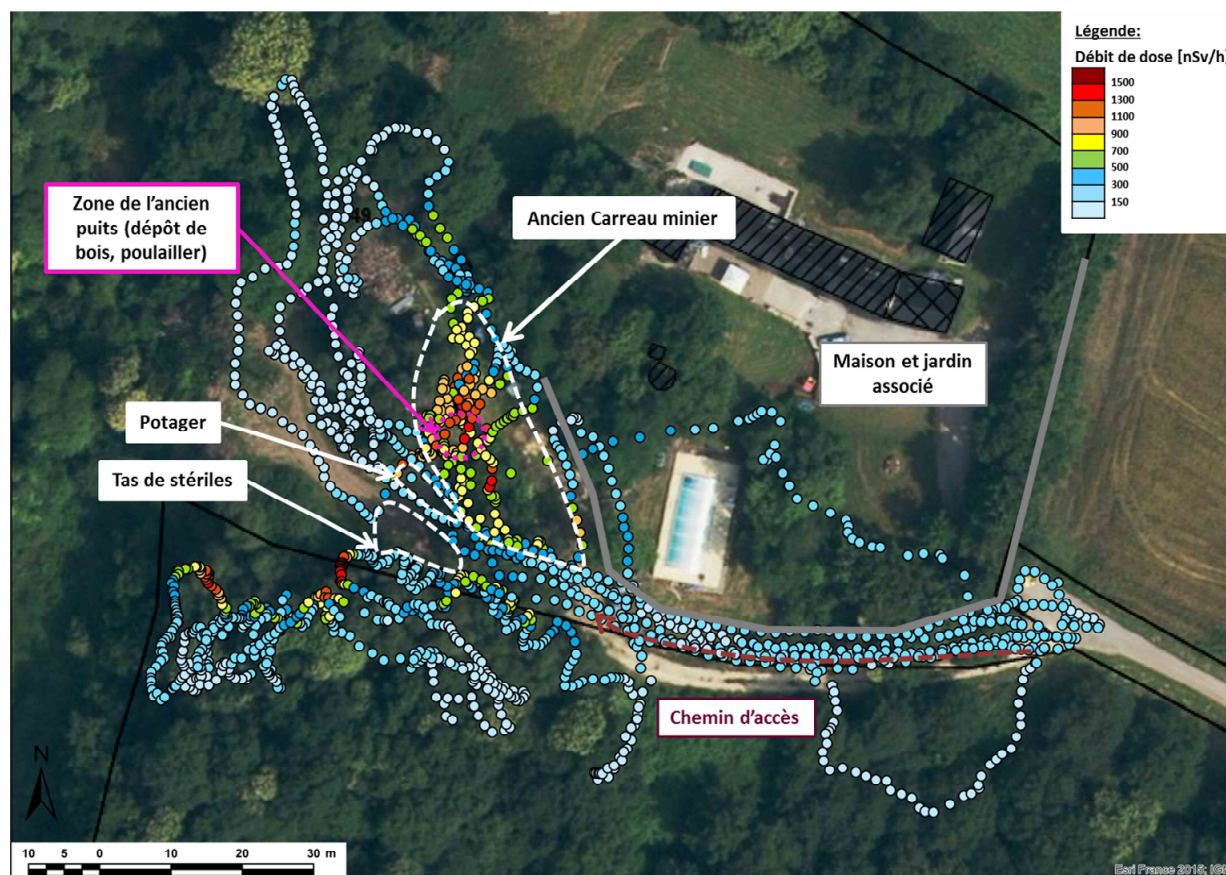


Figure 113 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées par l'IRSN sur et en environnement proche du site de Mane Mabo avec l'outil MARCASSIN (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN)

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 effectuée dans le cadre du BE et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à différents prélèvements d'eau dans l'environnement du site (cf. Figure 114, [2, 12]). Le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site a été échantillonné à deux endroits (cf. Figure 114) :

- en amont du site (Echantillon MMA RUA) ;
- en aval du site (Echantillon MMA RUB).

Une source localisée à l'ouest du site (Echantillon MMA SCE) a également été échantillonnée par Areva Mines (cf. Figure 114).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, l'IRSN a réalisé deux prélèvements d'eau dans le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site de Mane Mabo (cf. Figure 114 et Figure 115) :

- au droit du site à proximité du point de prélèvement Areva Mines MMA SCE et en amont du point MMA RUB (Echantillon 56E_MMA_RUB1) ;
- en aval, plus éloigné que le point Areva Mines MMA RUB (Echantillon 56E_MMA_RUB2).

Par ailleurs, lors de la visite de l'IRSN en août 2009, un prélèvement d'eau a également été effectué au point 56E_MMA_RUB2 (cf. Figure 114) [7].

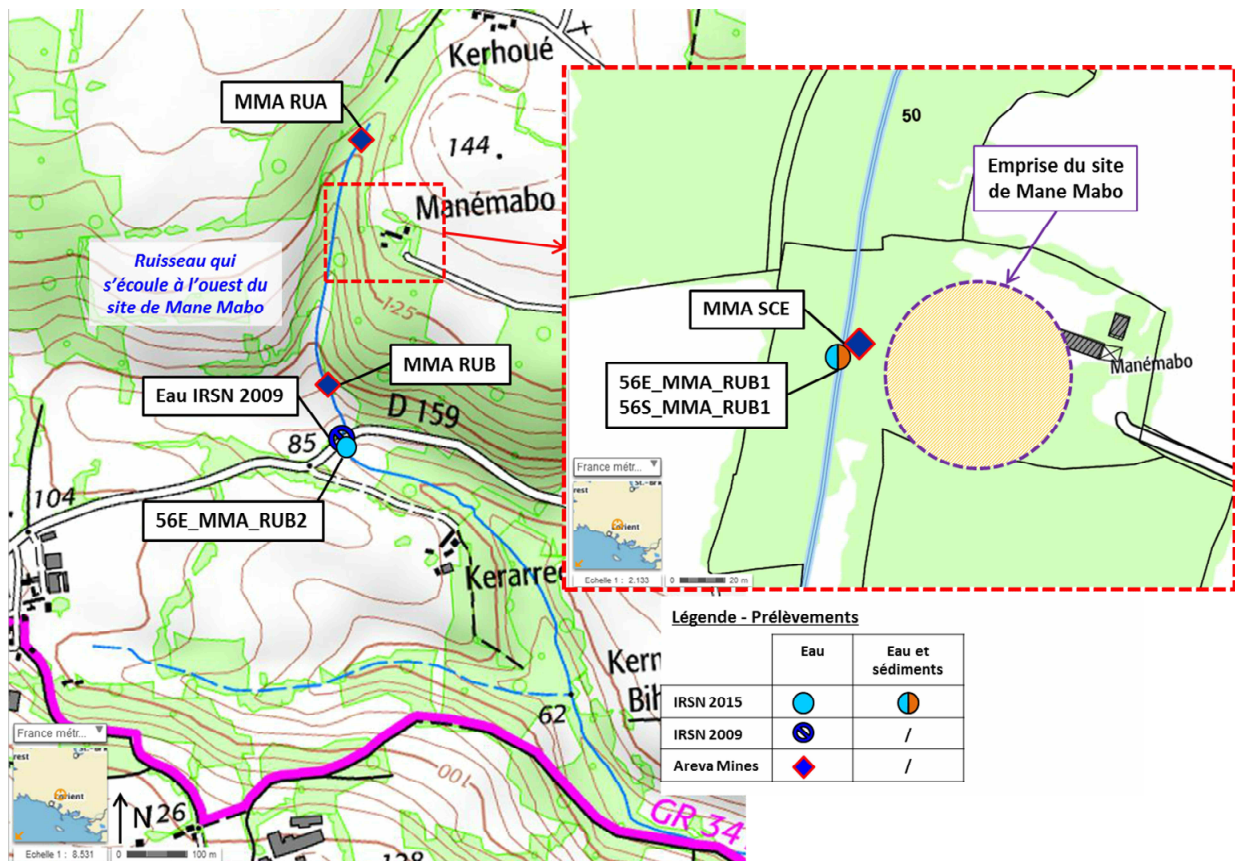


Figure 114 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche du site de Mane Mabo (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12] et IRSN [7])



Figure 115 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments de l'IRSN dans le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site de Mane Mabo (56E_MMA_RUB1, 56S_MMA_RUB1 et 56E_MMA_RUB2, photographies ©IRSN)

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 49.

Tableau 49 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Mane Mabo [2, 7, 12]

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
MMA SCE	Source localisée à l'ouest du site de Mane Mabo	Moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines [12]	5,5 [5,0-6,5]	174	< 1 [<1-2]		330 [< 20 - 470]	
MMA RUA	Ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site de Mane Mabo	Prélèvement en amont du site (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	5,4 [5,2-5,8]	171	< 1 [<1-2]		60 [30-120]	
56E_MMA_RUB1		Prélèvement au droit du site de Mane Mabo, à proximité du point Areva Mines MMA SCE et en amont du point Areva Mines MMA RUB (IRSN 2015)	5,5	155		< 1		223 ± 50
MMA RUB		Prélèvement en aval du site de Mane Mabo (Areva Mines 2011, [2])	6,0	165	< 1		140	
		Prélèvement en aval du site de Mane Mabo (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	7,0 [6,3-7,5]	170	< 1 [<1-<1]		90 [50-120]	
56E_MMA_RUB2		Prélèvement en aval du site de Mane Mabo et du point Areva Mines MMA RUB (IRSN 2015)	6,1	153		< 1		133 ± 33
Eau IRSN 2009		Prélèvement en aval du site de Mane Mabo et du point Areva Mines MMA RUB (IRSN 2009, [7])	7,4	178	< 0,5		104 ± 12	

Les teneurs en uranium obtenues au niveau de l'ensemble des points de prélèvements Areva Mines et IRSN sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). Pour ce qui concerne le radium 226, les activités obtenues au niveau de l'ensemble des points de prélèvements Areva Mines et IRSN sont supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire, en particulier au niveau de la source, avec néanmoins une légère diminution de l'activité en radium 226 du point 56E_MMA_RUB1 vers le point 56E_MMA_RUB2 (cf. Tableau 49).

Éléments d'analyse :

Géoarmor a réalisé pour Areva Mines une étude sur le site de Mane Mabo qui indique qu'un puits localisé sur ce site présente une valeur en radium 226 de $520 \pm 80 \text{ mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ et que la source serait vraisemblablement un affleurement de la nappe exploitée dans ce puits [31, 32]. Ainsi, l'origine de l'activité élevée au regard du bruit de fond en radium 226 mesurée dans le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site pourraient être les eaux souterraines.

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011, Areva Mines n'a pas procédé à des prélèvements de sédiments dans l'environnement du site. En revanche un prélèvement de sédiments a été effectué par l'IRSN en 2015 au niveau d'une zone humide créée par le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site de Mane Mabo (Echantillon 56S_MMA_RUB1, cf. Figure 114). Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 50. L'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 50 : Résultats de l'analyse des sédiments prélevés par l'IRSN en aval du site de Mane Mabo au point 56S_MMA_RUB1

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg^{-1}]*		
		$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{214}Pb	^{214}Bi
56S_MMA_RUB1	Prélèvement au droit du site de Mane Mabo, dans une zone humide créée par le ruisseau qui s'écoule à l'ouest du site (IRSN 2015)	270 ± 120	$1\,480 \pm 220$	$1\,320 \pm 190$

*exprimé en masse sèche

Les résultats des mesures réalisées sur l'échantillon 56S_MMA_RUB1 indiquent des activités massiques supérieures à celles observées dans le milieu naturel hors influence minière pour le radium 226 et ses descendants (d'un facteur 7 environ) ainsi qu'un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur du ^{226}Ra (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} = 5,4$).

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Areva Mines a réalisé en 2012 un prélèvement de sols du potager présent sur le site de Mane Mabo (Echantillon MM-jardin, cf. Figure 116). Dans le cadre des contrôles de second niveau de 2015, l'IRSN n'a pas réalisé de prélèvement de sols compte tenu qu'au cours de sa visite en août 2009, quatre prélèvements de sols avaient été effectués (cf. Figure 116) [7] :

- deux prélèvements au niveau du chemin d'accès au site (Echantillons Sol 1 et Sol 2) ;
- un prélèvement au niveau du poulailler (Echantillon Sol 3) ;
- un prélèvement au niveau de la zone d'entreposage à côté du chemin d'accès (Echantillon Sol 4).

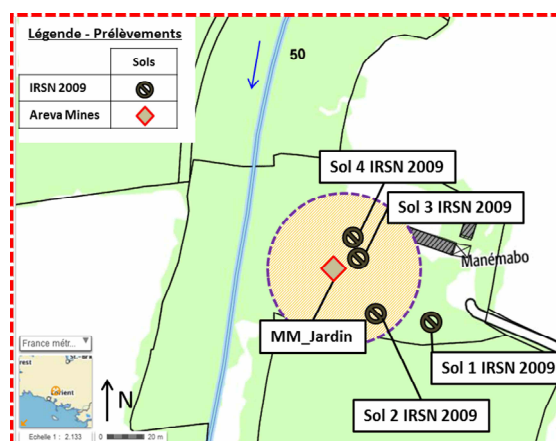


Figure 116 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par l'IRSN et Areva Mines sur le site de Mane Mabo et en champ proche (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [31] et IRSN [7])

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sols sont présentés au Tableau 51. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN, l'activité massique de l' ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 51 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sols prélevés sur le site de Mane Mabo et en champ proche

Nom de l'échantillon	Commentaires	Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
		^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi
MM-jardin	Prélèvement de la terre du potager à 0-20 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	2 ± 1		50 ± 6		
Sol 1 IRSN 2009	Prélèvement sur le chemin d'accès au site, avec un débit de dose au contact de 1380 nSv/h (IRSN 2009, [7])		371 ± 29		$(^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi})/2$ 1 700 ± 120	
Sol 2 IRSN 2009	Prélèvement sur le chemin d'accès au site, avec un débit de dose au contact de 3200 nSv/h (IRSN 2009, [7])		< 2 900		$(^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi})/2$ 44 500 ± 3 200	
Sol 3 IRSN 2009	Prélèvement au niveau du poulailler, avec un débit de dose au contact de 4980 nSv/h (IRSN 2009, [7])		< 955		$(^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi})/2$ 4 050 ± 290	
Sol 4 IRSN 2009	Prélèvement la zone de stockage à côté du chemin d'accès, avec un débit de dose au contact de 3030 nSv/h (IRSN 2009, [7])		< 2 500		$(^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi})/2$ 22 600 ± 1 600	

*exprimée en masse sèche

Les résultats des mesures réalisées sur l'échantillon MM-jardin indiquent des activités massiques en radionucléide très faibles. Ce sol est probablement de la terre végétale du commerce qui a été ajoutée pour le potager.

Les résultats des mesures réalisées par l'IRSN en 2009 indiquent des activités massiques supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière (jusqu'à plus de 100 fois pour le radium 226 de l'échantillon sol 2) ainsi qu'un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur du ^{226}Ra (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} = 37$ pour le sol 2 par exemple). Etant donné qu'il n'y a pas eu de traitement du minerais *in situ* (essais de lixiviation etc.) ni de rejet des eaux d'exhaure sur ce site [2, 7], ce déséquilibre pourrait s'expliquer par l'altération des stériles présents sur ce site par les eaux météoriques.

**Annexe 12: Fiche d'observations de terrain, de mesures
radiamétriques et d'analyses des prélèvements effectués sur les
anciens sites miniers du Morbihan : Site de Ty Gallen**

Site de Ty Gallen

Région	Bretagne	Autres sites sur la commune	Keryacunff, Poulprio et Galhaut
Département	Morbihan (56)		
Commune	Bubry		
Cadastre	<p><u>Propriété non Areva Mines</u> : Commune de Bubry, section XW, parcelle 3 (chemin d'accès au site).</p> <p><u>Propriété Areva Mines</u> : Commune de Bubry, section XW parcelle 2.</p> <p>(cf. Figure 118)</p>		
Propriété	Areva Mines et Privée		
Surface du site	1 ha 60 a		

Source principale : Areva Mines [2]



Figure 117 : Vue aérienne du site de Ty Gallen, en jaune l'emprise du site (sur fond Géoportail ©IGN [4])

1. NATURE DES TRAVAUX MINIERS ET REAMENAGEMENTS

Type de travaux	Travaux Miniers Souterrains (TMS) : ils comprenaient une descenderie et trois montages. Les galeries étaient réparties sur trois niveaux (N-15, N-35 et N-50).
Période d'exploitation	1963 à 1981 (1960 à 1963 : tranchées de reconnaissance et sondages)
Production d'uranium [T]	48,727
Lieu de traitement du minerai	Usine de l'Ecarpière
Réaménagements réalisés	- TMS : les trois montages ont été remblayés et l'entrée de la descenderie a été comblée et remodelée afin de suivre le terrain naturel. Un tumulus de 2 m de diamètre sur 1,2 m de hauteur a été mis en place sur le montage M2. - Installation de surface : quatre poteaux électriques implantés sur l'ancien carreau ont été enlevés. En 2011, l'ancien carreau minier du site a été débroussaillé sur toute sa surface.
Fin des réaménagements	1993 (derniers travaux 2011)
Servitudes	/
Autres	Pendant l'exploitation, les eaux d'exhaure des TMS étaient pompées via un forage technique. Elles étaient canalisées à la sortie du forage puis s'écoulaient librement dans un fossé jusqu'au hameau de Guern en Tal. Au niveau de ce dernier les eaux d'exhaure étaient de nouveau canalisées puis ressortaient librement au niveau d'une buse localisée en contrebas du hameau de Guern en Tal. Elles s'écoulaient ensuite dans une zone humide qui alimente en partie un ruisseau affluent du ruisseau du Brulé (cf. Figure 118 et Figure 119 - B).

Source principale : Areva Mines [2]

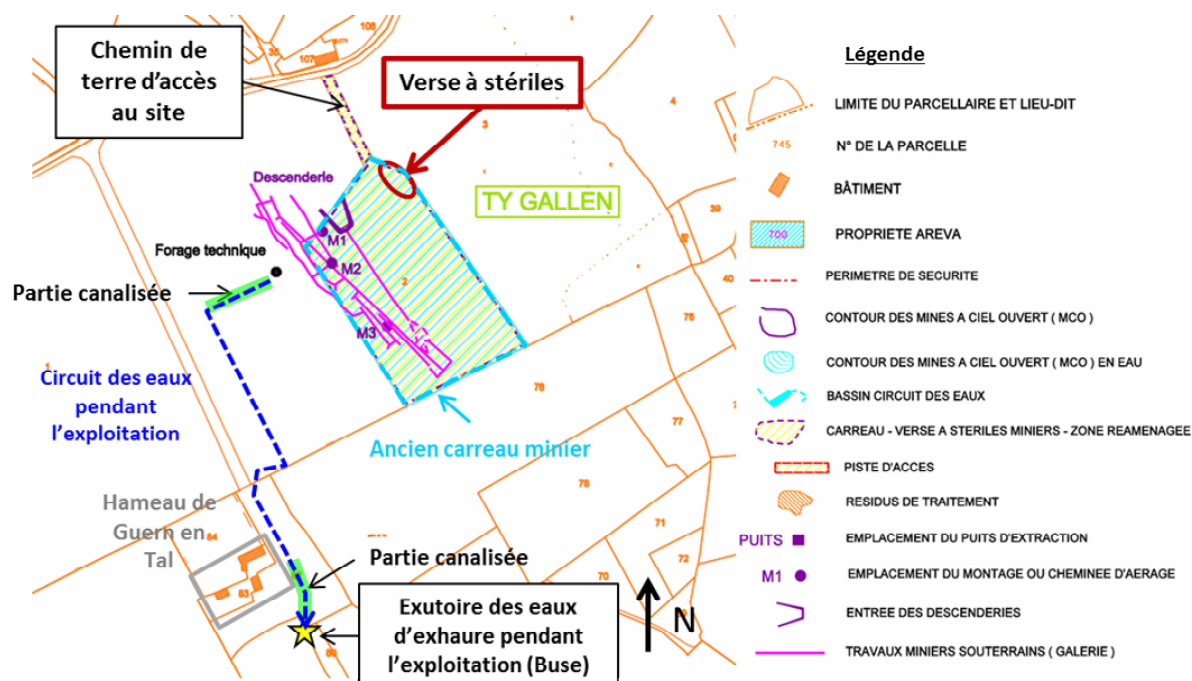


Figure 118 : Situation des travaux miniers du site de Ty Gallen sur plan cadastral (source Areva Mines [2])

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le site de Ty Gallen est localisé à 4,6 km au nord de Bubry (cf. Figure 119 - A). Il est drainé par deux affluents du ruisseau du Brulé (appelés par la suite ruisseau n°1 et ruisseau n°2) qui coulent tous les deux au sud du site (cf. Figure 119 - B). Le ruisseau n°2 est actuellement alimenté par une source localisée à côté de l'ancien exutoire des eaux d'exhaure et par une zone humide localisée quelques mètres en contrebas de la source (cf. Figure 119 - B). Le ruisseau du Brulé se jette dans Le Blavet une dizaine de kilomètres en aval (cf. Figure 119-A).

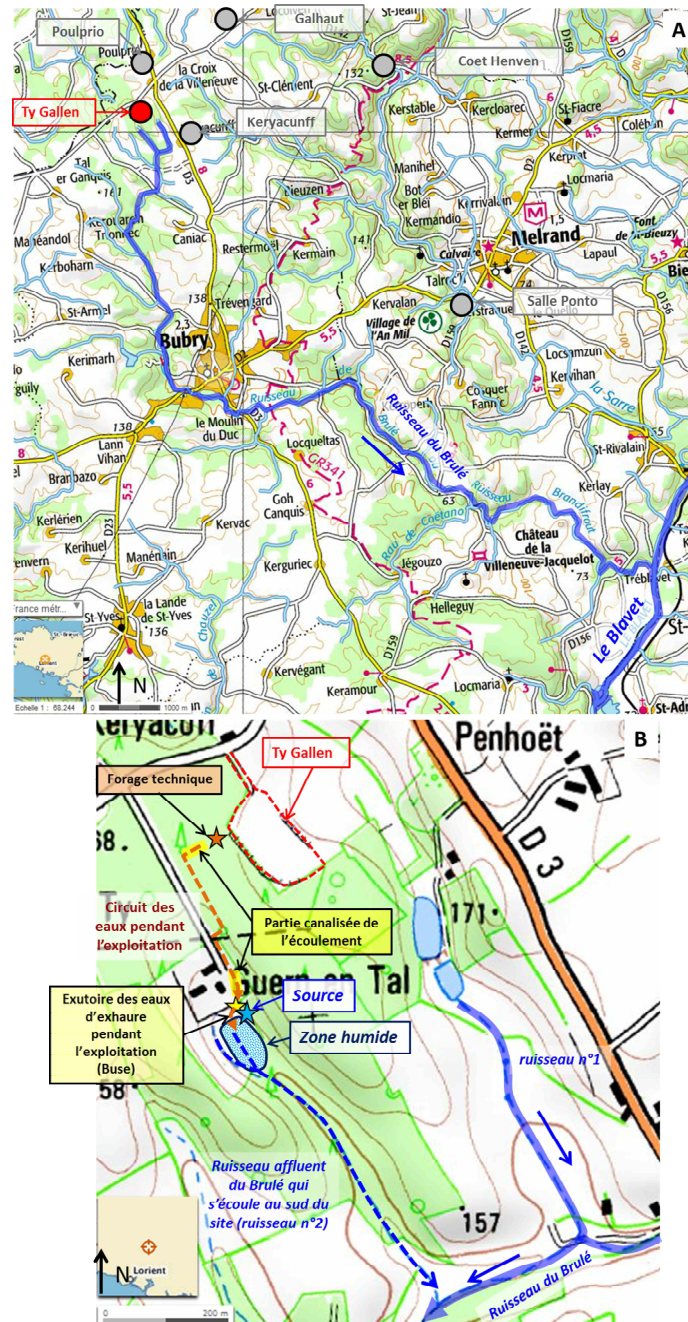


Figure 119 : Réseau hydrographique de surface à proximité de l'ancien site minier de Ty Gallen : A - Vue générale, B - Zoom sur le site de Ty Gallen ; les flèches bleues indiquent le sens des écoulements connus (sur fond Géoportail ©IGN [4])

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Date de la visite et contexte	
28 septembre 2015 et le 18 novembre 2015 dans le cadre des contrôles de second niveau du programme MIMAUSA	
Objectifs de la visite	
<p>Sur site : Effectuer des mesures radiamétriques, préciser l'usage et l'accès au site</p> <p>Champ proche : Effectuer des mesures radiamétriques au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation, prélever des échantillons d'eau et de sédiments au niveau de la zone humide du hameau de Guern en Tal</p>	
Personnes présentes	
La propriétaire, une adjointe à la Mairie de Bubry, des membres de l'association RozGlas	
Ouvrages visibles ou localisés	Coordonnées GPS (Lambert 93)
Carreau minier	X = 238 880 ; Y = 6 785 085

3.1 OBSERVATIONS DE LA SITUATION ET DES USAGES ACTUELS DU SITE

Le carreau minier se situe sur une parcelle appartenant à Areva Mines dont l'accès se fait librement via un chemin de terre (cf. Figure 120). Le carreau minier a été défriché, ce qui n'était pas le cas lors de la visite précédente de l'IRSN en 2009 [7]. Un panneau à l'entrée de la parcelle explique l'historique de la mine de Ty Gallen (cf. Figure 120). Les terrains situés à l'aplomb des anciens travaux miniers sont constitués de bois et de prairie ; ils sont empruntés par des randonneurs (cf. Figure 121).

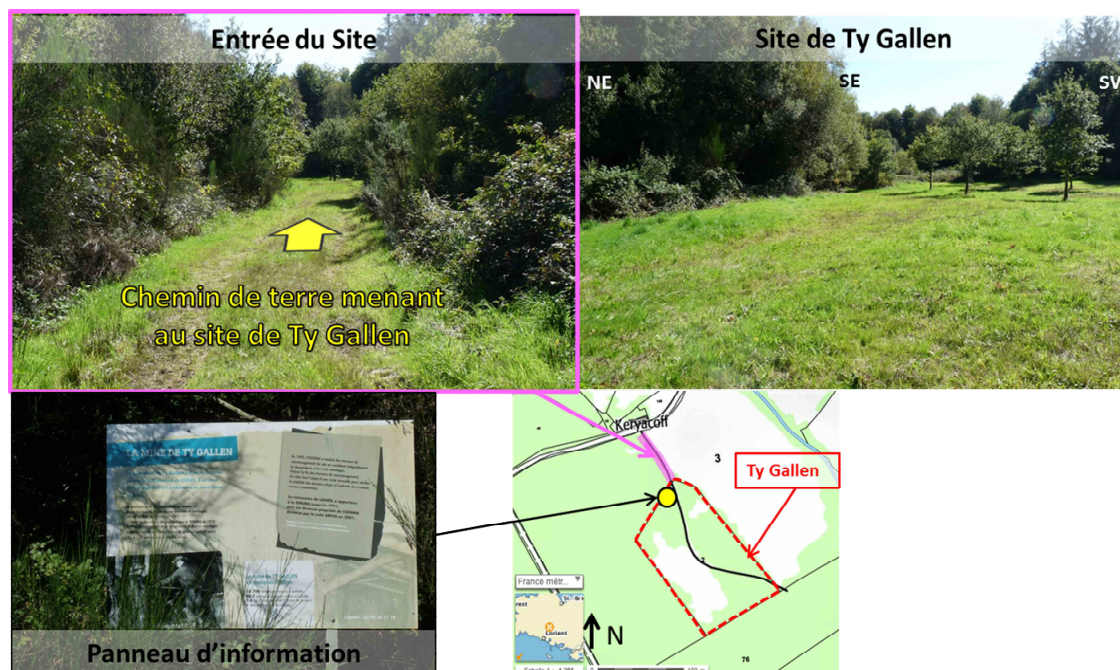


Figure 120 : Photographies du site de Ty Gallen (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN)

L'ancien circuit des eaux d'exhaure (cf. Figure 118 et Figure 119 - B) longeait le chemin d'accès actuel vers le Hameau de Guern en Tal (situé à 200 m en aval du site) puis les eaux étaient canalisées pour ressortir au niveau d'une zone humide localisée à quelques dizaines de mètres du hameau (cf. Figure 121). Une source localisée à côté de l'exutoire était utilisée par les propriétaires pour arroser leur potager : au cours de la visite de l'IRSN en 2015 cette dernière n'avait plus d'usage (cf. Figure 121). La maison située au niveau du hameau, à proximité de la source et de la zone humide, est une habitation secondaire (cf. Figure 122).

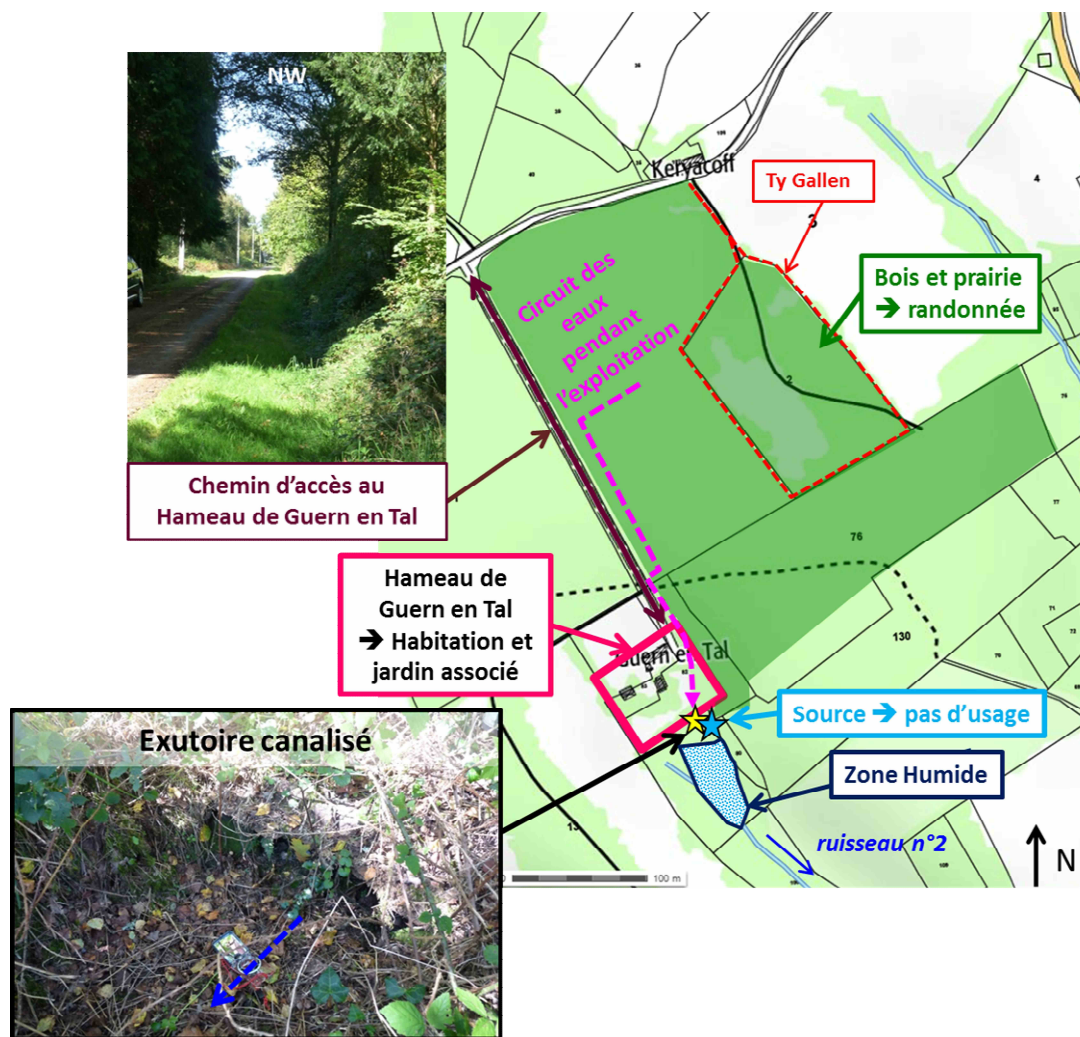


Figure 121 : Photographies et usages constatés en 2015 du site de Ty Gallen et de son environnement proche (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN)

Au cours de la visite de l'IRSN, en 2015, aucun n'écoulement n'a été repéré au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure : l'exutoire et la source étaient à sec.



Figure 122 : Photographies du hameau de Guern en Tal réalisées en 2015 (localisation des clichés sur fond Géoportail ©IGN [4], photographies ©IRSN)

3.2 OBSERVATIONS CONCERNANT LA SITUATION RADIOLOGIQUE

3.2.1 Mesures radiamétriques de surface

Données Areva Mines

Des mesures radiamétriques ont été réalisées par Areva Mines en 2011 sur le site de Ty Gallen au niveau du chemin d'accès au site, de l'ancien carreau minier, de la verse à stériles, de l'ancien circuit des eaux d'exhaure et de la zone humide (cf. Tableau 52) [2]. Ces mesures ont été complétées, en 2012, par la réalisation d'un plan compteur sur le site de Ty Gallen et au niveau du hameau de Guern en Tal (cf. Figure 123) [31].

Tableau 52 : Résultats des mesures radiamétriques effectuées par Areva Mines en 2011 sur le site de Ty Gallen [2]

Secteur	Valeurs mesurées au SPPy [en chocs/sec]
Milieu naturel	100-120
Chemin d'accès au site	150-350 (1 000 ponctuel à l'entrée du site)
Ancien carreau minier	220-450
Verse à stériles	200-220
Circuit des eaux pendant l'exploitation (jusqu'à Guern en Tal)	650-2 500
Zone humide en contrebas du hameau de Guern en Tal	400-3 200 (7 000 au contact)

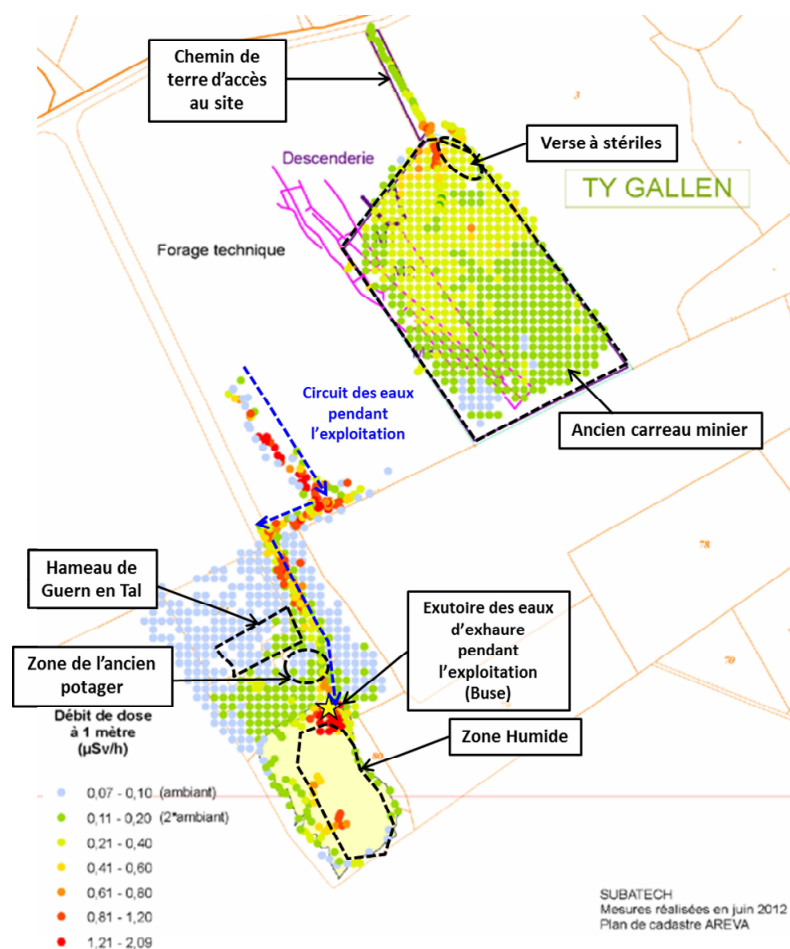


Figure 123 : Plan compteur du site Ty Gallen et de son environnement proche réalisé par Areva Mines en 2012 [31]

Les mesures radiométriques effectuées sur le site (carreau minier, verse à stériles) sont de l'ordre de 1 à 4 fois le bruit de fond naturel avec quelques points ponctuels à 10 fois le bruit de fond naturel au niveau de l'entrée du site. Les valeurs relevées au niveau des zones concernées par le circuit des eaux d'exhaure sont de l'ordre de 4 à plus de 20 fois le bruit de fond naturel.

Contrôles IRSN

Des mesures de débits de dose ont été réalisées en environnement proche du site de Ty Gallen à l'aide de l'outil MARCASSIN lors de la visite du 18 novembre 2015 (cf. Figure 124 et Figure 125). Lors de la mission, la zone humide était relativement sèche ce qui a permis d'effectuer des mesures sur une partie qui était inaccessible lors de la réalisation du plan compteur par Areva Mines en 2012 (cf. Figure 123) [31]. Toutefois l'ensemble de la zone humide n'a pas pu être investiguée compte tenu de son caractère marécageux.

Des mesures de débits de dose ont également été réalisées par l'IRSN au niveau de l'entrée du site, du circuit des eaux pendant l'exploitation, du hameau de Guern en Tal (cf. Figure 125).

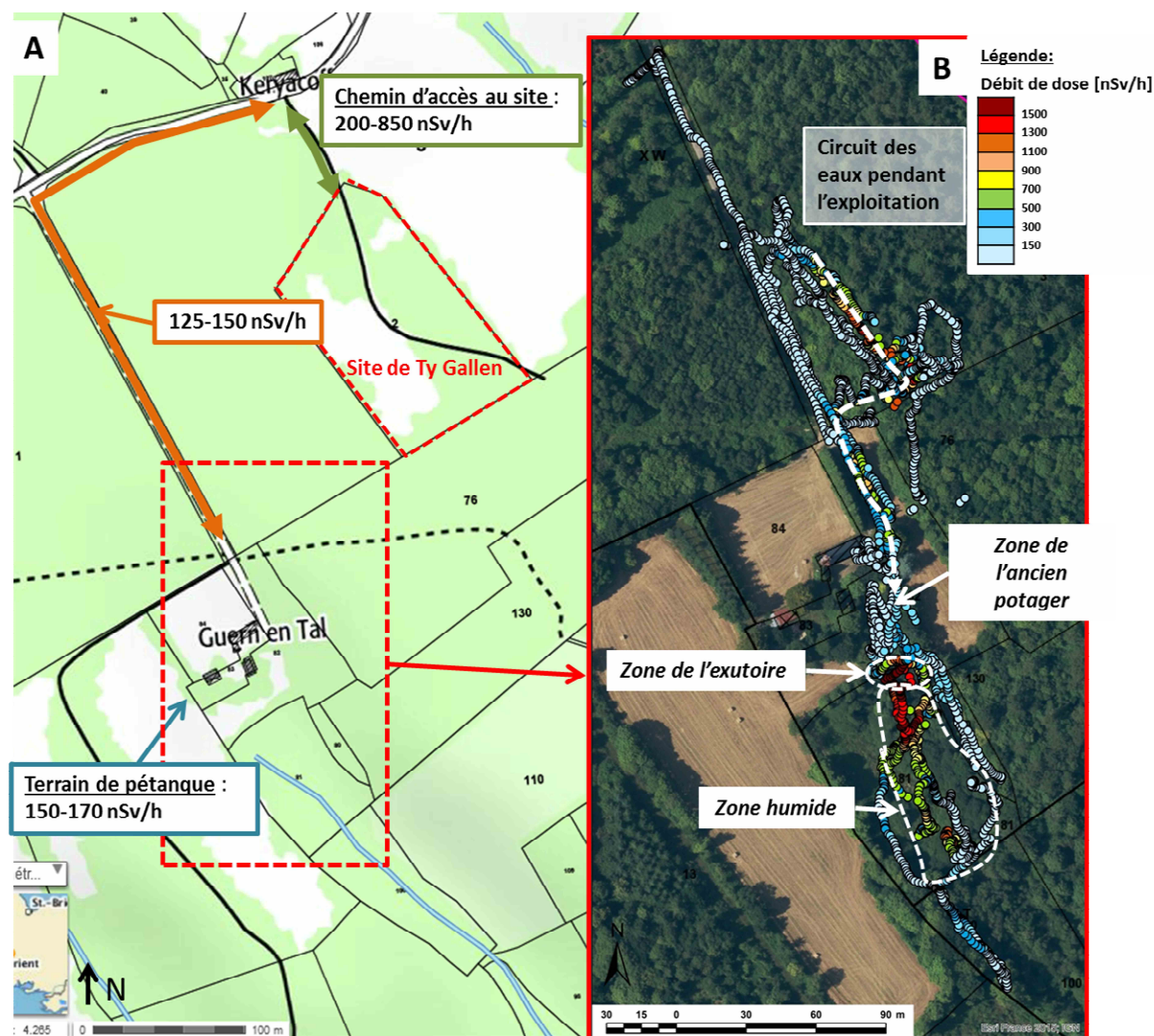


Figure 124 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur et dans l'environnement proche du site de Ty Gallen avec l'outil MARCASSIN et avec la sonde gamma; A et B-Vue générale (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN)

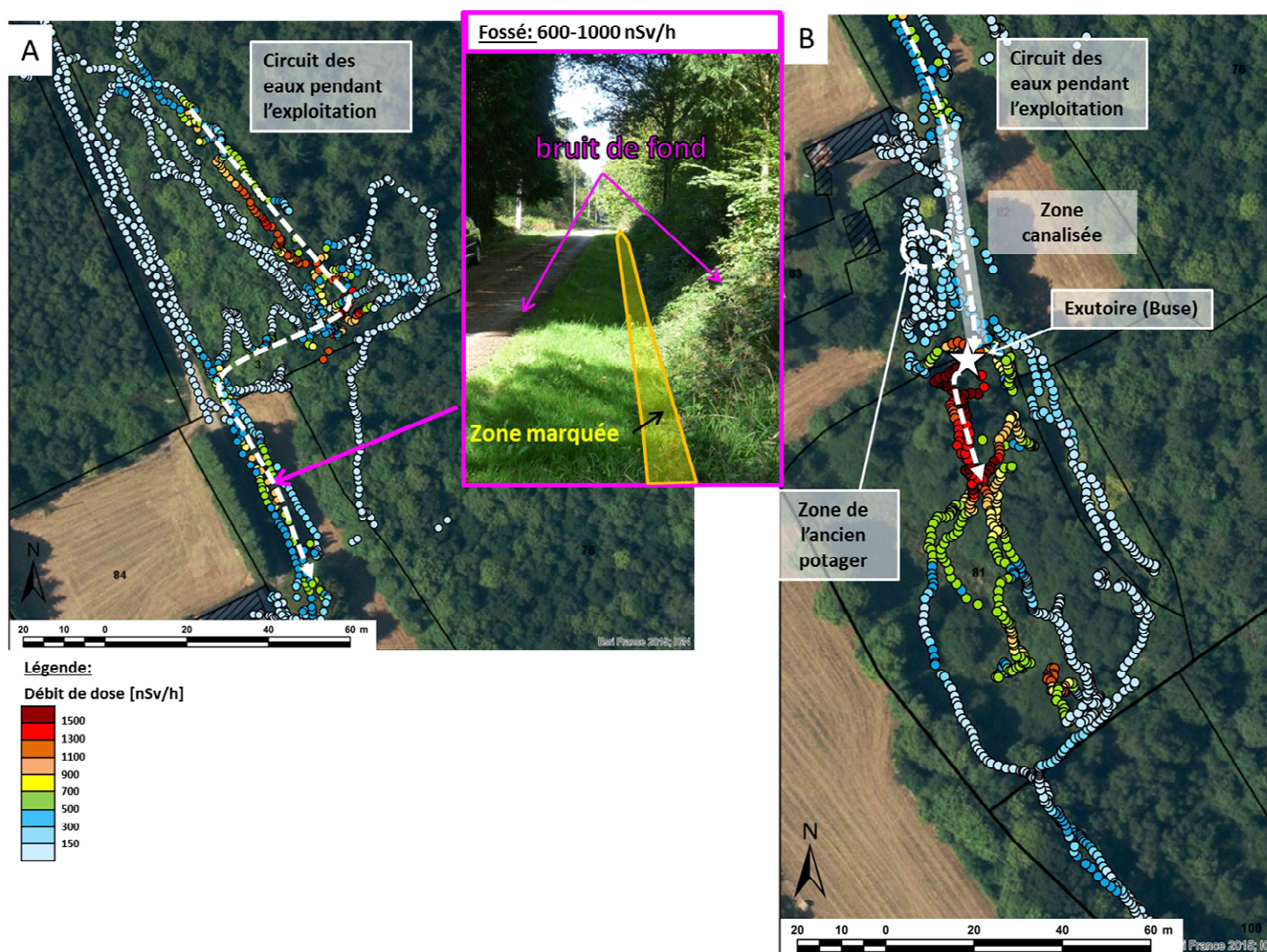


Figure 125 : Cartographie des mesures du débit de dose en nSv/h réalisées sur et dans l'environnement proche du site de Ty Gallen avec l'outil MARCASSIN : A-Zoom sur la zone du talus, B-Zoom sur l'exutoire des eaux d'exhaure et la zone humide (sur fond Géoportail ©IGN [4], données ©IRSN)

Les débits de dose mesurés sur le chemin d'accès au site sont de l'ordre de 1 à 7 fois le bruit de fond naturel (cf. Figure 124 -A). Les mesures de débits de dose permettent de localiser précisément le circuit des eaux pendant l'exploitation (cf. Figure 124 et Figure 125) :

- dans les bois, les débits de dose peuvent être supérieurs à 10 fois le bruit de fond naturel ;
- le fossé le long du chemin menant au hameau présente des débits de dose allant de 5 à 8 fois le bruit de fond naturel. Ce marquage est observable dans le fossé et sur la zone concernée par l'ancien circuit des eaux d'exhaure ; le chemin et le talus présentent quant à eux une radiamétrie équivalente au bruit de fond naturel ;
- la partie arborée de la zone humide est celle qui présente les plus fortes valeurs de débits dose qui peuvent être supérieurs à 10 fois le bruit de fond naturel sur une zone de plusieurs dizaine de mètre carrés.

Les mesures sont cohérentes avec celles d'Areva Mines (cf. Tableau 52 et Figure 123).

3.2.2 Analyses des eaux sous influence potentielle du site

Au cours de la campagne de mesure de 2011 et dans le cadre du programme de surveillance réalisé entre septembre 2012 et juin 2013, Areva Mines a procédé à différents prélèvements d'eau dans l'environnement du site de Ty Gallen (cf. Figure 126) [2, 12, 31] :

- dans un étang localisé au sud-est du site alimentant le ruisseau n°1 (Echantillon TYG ETG) ;
- au niveau de l'ancien exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (Echantillon TYG EXU) ;
- dans la source qui alimente en partie le ruisseau n°2 et localisée en amont de la zone humide (Echantillon TYG SCE) ;
- dans le ruisseau n°2 en aval de la zone humide (Echantillon TYG RUB) ;
- dans le ruisseau du Brulé en aval de sa confluence avec le ruisseau n°2 (Echantillons TYG RUSE et TYG B).

Dans le cadre des contrôles de second niveau, l'IRSN a réalisé trois prélèvements d'eau dans l'environnement du site de Ty Gallen (cf. Figure 126 et Figure 127) :

- à la sortie de la zone humide, dans le ruisseau n°2 en amont du point de prélèvement Areva Mines TYG RUB (Echantillon 56E_TYG_ZMB) ;
- dans le ruisseau du Brulé en aval de sa confluence avec le ruisseau n°2 (Echantillons 56E_BRU_B1 et 56E_BRU_B2).

Un prélèvement supplémentaire était initialement prévu dans la source mais cette dernière était à sec au moment de la visite de l'IRSN en 2015. Par ailleurs, lors de la visite de l'IRSN en août 2009, un prélèvement a été effectué dans l'étang localisé au sud-est du site au niveau du point de prélèvement Areva Mines TYG ETG (cf. Figure 126) [7].

Les résultats des analyses réalisées au niveau de ces points de prélèvements sont reportés au Tableau 53.

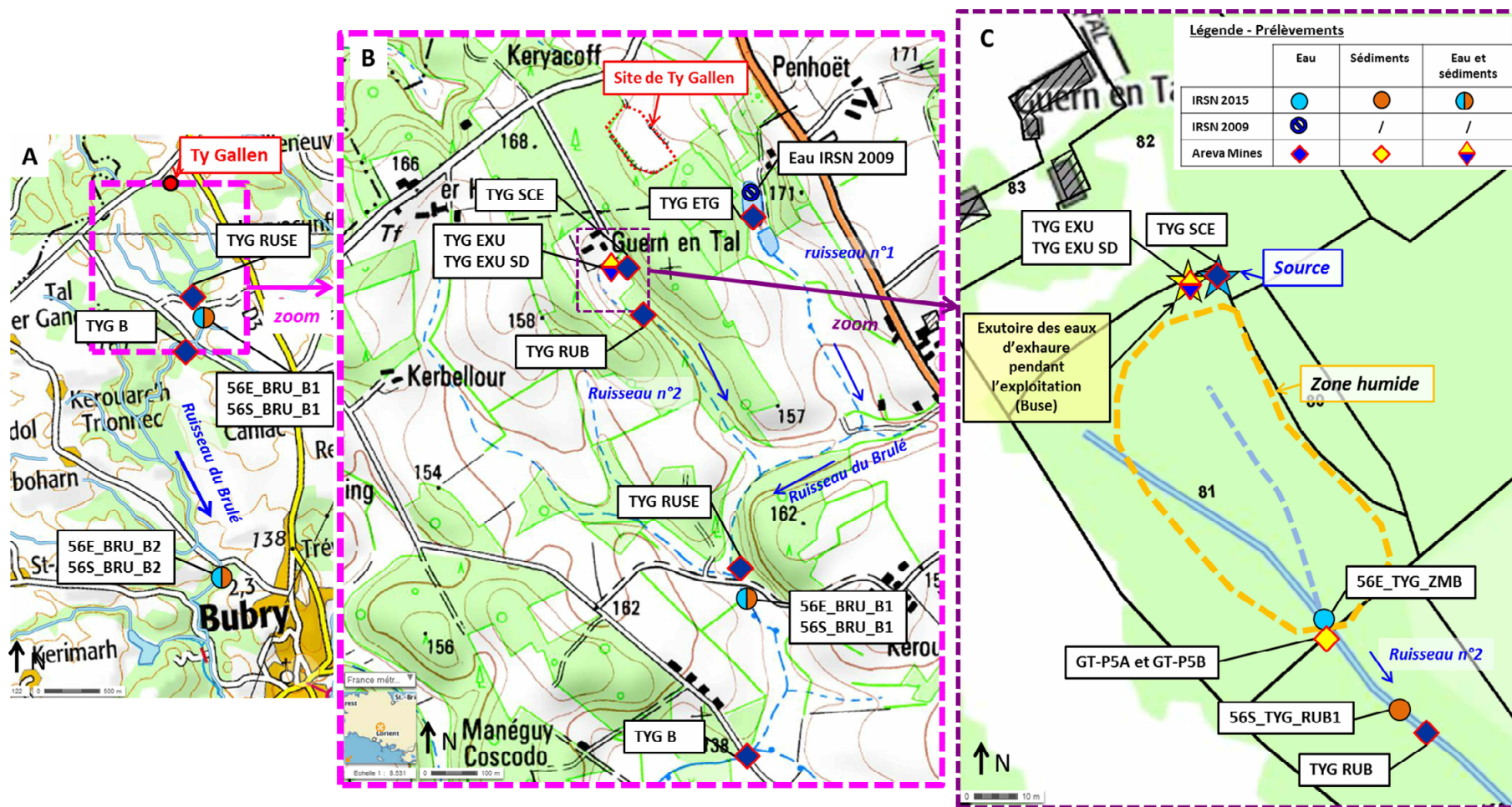


Figure 126 : Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments effectués par l'IRSN et Areva Mines en champ proche de Ty Gallen (sur fond Géoportail ©IGN [4], données Areva Mines [2, 12, 31] et IRSN [7])

Tableau 53 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les eaux prélevées aux abords du site de Ty Gallen

Nom de l'échantillon	Commentaires		pH	Conductivité [μS.cm ⁻¹]	²³⁸ U _{dissous} [μg.L ⁻¹]	U _{total} [μg.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{dissous} [mBq.L ⁻¹]	²²⁶ Ra _{total} [mBq.L ⁻¹]
Etang localisé au sud-est du site de Ty Gallen								
TYG ETG	Prélèvement Areva Mines 2011 [2]		6,2	146	<1,0		60	
Eau IRSN 2009	Prélèvement IRSN 2009 [7]		7,6	196	< 0,5		9 ± 4	
Zone humide et ruisseau n°2								
TYG SCE	Source qui alimente en partie le ruisseau n°2	Prélèvement dans la source (Areva Mines 2011)	5,4	89	5,5		120	
		Prélèvement dans la source (mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013, [12])	5,9 [5,6-6,3]	98 [95-102]	5,0 [2-8]		100 [60-110]	
TYG EXU	Exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation	Prélèvement au niveau de l'ancien exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (Areva Mines 2011, [2])	5,4	90	7,9		210	
56E_TYG_ZMB	Ruisseau n°2	Prélèvement à la sortie de la zone humide, en amont du point de prélèvement Areva Mines TYG RUB (IRSN 2015)	5,3	100		74,1 ± 4,4		1 070 ± 250
TYG RUB		Prélèvement en aval de la zone humide (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])	6,3 [5,8-6,9]	86 [83-91]	42,0 [17 - 75]		160 [90 - 220]	
Ruisseau du Brulé - en aval de sa confluence avec le ruisseau n°2								
TYG RUSE	Ruisseau du Brulé en aval éloigné de la zone humide (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])		6,3 [5,7-6,9]	99	< 28,0 [<1-87]		< 140 [< 20-300]	
56E_BRU_B1	Ruisseau du Brulé en aval éloigné de la zone humide, à proximité du point Areva Mines TYG RUSE (IRSN 2015)		5,8	148		1,3 ± 0,1		45 ± 13
TYG B	Ruisseau du Brulé en aval éloigné de la zone humide (moyenne des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance 2012-2013 par Areva Mines, [12])		6,6 [6,2-6,9]	147 [143-154]	3,0 [2-5]		60 [40-90]	
56E_BRU_B2	Ruisseau du Brulé en aval éloigné de la zone humide à environ 3,5 km de cette dernière (IRSN 2015)		6,2	149		< 1		9 ± 6



Figure 127 : Photographies des points de prélèvements d'eau et de sédiments IRSN, A- Ruisseau n°2 drainant la zone humide (Echantillon 56E_TYG_ZMB), B et C -Ruisseau du Brulé en aval de Ty Gallen (56E_BRU_B1, 56S_BRU_B1, 56S_BRU_B2 et 56E_BRU_B2) (photographies ©IRSN)

Etang localisé au sud-est du site de Ty Gallen :

Les teneurs en uranium mesurées au niveau de l'étang localisé au sud-est du site (point TYG ETG, cf. Figure 126) par Areva Mines et l'IRSN en 2009 sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire (cf. Annexe 2). L'activité en radium 226 mesurée au niveau de cet étang par Areva Mines est légèrement supérieure à celle généralement observée dans des eaux de surface hors influence minière et dans un contexte géologique similaire alors que la mesure réalisée par l'IRSN en 2009 indique une activité de l'ordre du bruit de fond (cf. Annexe 2).

Eaux de surface sous l'influence potentielle de l'ancien circuit des eaux d'exhaure (source, exutoire, zone humide, ruisseau n°2 et ruisseau du Brulé) :

Les teneurs en uranium et les activités en radium 226 mesurées aux points TYG EXU, TYG SCE, 56E_TYG_ZMB, TYG RUB, TYG RUSE et TYG B sont supérieures à celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière (cf. Annexe 2). En revanche, les teneurs en uranium et les activités en radium 226 obtenues par l'IRSN, dans le ruisseau du Brulé en aval éloigné du site (Echantillons 56E_BRU_B1 et 56E_BRU_B2) sont du même ordre de grandeur que celles généralement observées dans des eaux de surface hors influence minière (cf. Annexe 2).

De plus, les résultats permettent d'observer l'évolution globale suivante :

- une augmentation des teneurs (en particulier pour l'uranium) entre les points de prélèvement TYG EXU/TYG SCE et la sortie de la zone humide ;
- une diminution des teneurs entre la sortie de la zone humide et le point de prélèvement TYG B.

L'évolution observée par l'IRSN sur les eaux en aval du site est cohérente avec les mesures d'Areva Mines. Cependant, l'activité en radium 226 mesurée par l'IRSN à la sortie de la zone humide est supérieure à celle

mesurée par Areva Mines au point TYG RUB alors que les teneurs observées au point 56E_BRU_B1 sont inférieures à celles obtenues par Areva Mines au point TYG RUSE (cf. Tableau 53). La surveillance des eaux de surface en aval du site de Ty Gallen révèle une variation importante des activités en radium 226 et en uranium 238 : en effet l'activité en radium 226 est comprise entre < 20 et 300 mBq/L et la teneur en uranium est comprise entre <1 et 87 µg.L⁻¹ au point TYG RUSE par exemple (cf. Tableau 53). Ces variations pourraient être liées à la quantité d'eau qui draine la zone humide et donc à la période de prélèvement (effet de dilution en cas de forte pluie ou de concentration en cas de sécheresse).

Par ailleurs, la différence entre les résultats IRSN et Areva Mines relatives aux activités en radium 226 dans les eaux à la sortie de la zone humide (²²⁶Ra = 1 070 ± 250 mBq.L⁻¹ au point 56E_TYG_ZMB et ²²⁶Ra compris entre 90 et 220 mBq.L⁻¹ au point TYG RUB) peut s'expliquer par la fraction analysée. En effet les analyses radiologiques réalisées par l'IRSN ont été effectuées sur la fraction totale (fraction dissoute + particulaire) alors qu'Areva Mines a réalisé ses analyses uniquement sur la fraction dissoute. La fraction particulaire peut contenir des particules sur lesquelles s'adsorbent les radionucléides et expliquer en partie les différences observées entre les résultats IRSN et Areva Mines.

Eléments d'analyse :

Areva Mines indique que le forage technique présent sur le site de Ty Gallen présente une activité en radium 226 de 20 ± 10 mBq.L⁻¹ et une concentration en uranium inférieure à 0,3 µg.L⁻¹ [31, 32]. Ces valeurs sont bien inférieures à celles observées en aval de la zone humide et ne peuvent expliquer les valeurs obtenues en sortie de cette dernière par une émergence d'eau souterraine marquée en radionucléides.

3.2.3 Analyses des sédiments dans les rivières potentiellement sous influence du site

Areva Mines a procédé à un prélèvement de sédiments au niveau de l'ancien fossé recevant les eaux d'exhaure pendant l'exploitation au cours de la campagne de mesure de 2011 (Echantillon TYG EXU SD, cf. Figure 126) et dans le lit du ruisseau à la sortie de la parcelle 81 (Echantillons GT-P5A, et GT-P5B, cf. Figure 126) [2, 31] :

- l'échantillon GT-P5A est décrit comme étant une phase argilo limoneuse de couleur ocre ;
- l'échantillon GT-P5B est décrit comme étant une phase sableuse de couleur grise.

Dans le cadre des contrôles de second niveau l'IRSN a réalisé trois prélèvements de sédiments dans l'environnement du site de Ty Gallen (cf. Figure 126) :

- à la sortie de la zone humide, dans le ruisseau n°2 une vingtaine de mètres en aval de la zone humide (Echantillon 56S_TYG_RUB1, cf. Figure 128). Le sédiment présentait une couleur ocre/beige ;
- dans le ruisseau du Brulé en aval de sa confluence avec le ruisseau n°2 (Echantillons 56S_BRU_B1 et 56S_BRU_B2).

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 54. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN, l'activité massique de l'²³⁸U peut être assimilée à celle du ^{234m}Pa. Celle du ²²⁶Ra peut être assimilée à l'activité massique du ²¹⁴Pb (ou du ²¹⁴Bi).

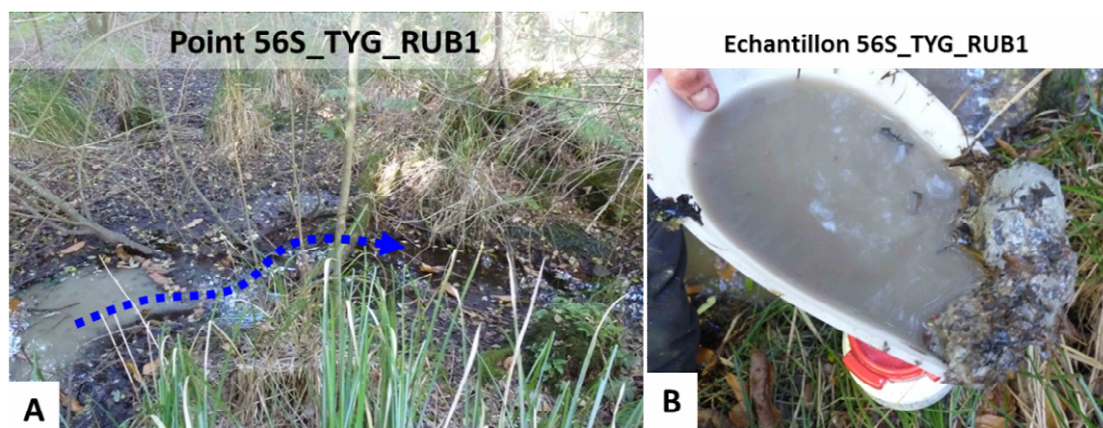


Figure 128 : Photographies A- Ruisseau n°2 localisé en aval de la zone humide, point de prélèvements du sédiment 56S_TYG_RUB1, B- Echantillon 56S_TYG_RUB1 (photographies ©IRSN)

Tableau 54 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines et l'IRSN sur les sédiments prélevés en champ proche du site de Ty Gallen

		Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
Nom de l'échantillon	Commentaires	²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
Zone humide et ruisseau n ° 2						
TYG EXU SD	Prélèvement au niveau de l'ancien exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (Areva Mines 2011, [2])	31 400		10 100		
GT-P5A	Prélèvement dans le ruisseau n ° 2, à la sortie de la zone humide (Areva Mines 2012, [31])	11 225 ± 4 851		12 835 ± 2 368		
GT-P5B	Prélèvement dans le ruisseau n ° 2, à la sortie de la zone humide (Areva Mines 2012, [31])	589 ± 263		1 314 ± 232		
56S_TYG_RUB1	Prélèvement dans le ruisseau n ° 2, en aval de la zone humide (IRSN 2015)		35 300 ± 3 500		29 200 ± 2 800	28 100 ± 2 600
Ruisseau du Brulé - En aval de sa confluence avec le ruisseau n ° 2						
56S_BRU_B1	Ruisseau du Brulé en aval éloigné de la zone humide, à proximité du point Areva Mines TYG RUSE (IRSN 2015)		1 620 ± 420		1 770 ± 170	1 650 ± 160
56S_BRU_B2	Ruisseau du Brulé en aval éloigné de la zone humide à environ 3,5 km de cette dernière (IRSN 2015)		320 ± 150		620 ± 60	610 ± 60

*exprimée en masse sèche

Les résultats révèlent que les activités massiques des échantillons TYG EXU SD, GT-P5A, GT-P5B, 56S_TYG_RUB1 et 56S_BRU_B1 sont supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (plus de 100 fois pour l'²³⁸U et le ²²⁶Ra pour l'échantillon 56S_TYG_RUB1 par exemple, cf. Tableau 54). Les résultats de mesures de l'échantillon 56S_BRU_B2, localisé environ à 3,5 km en aval de la zone humide, révèlent une activité massique pour le radium 226 également supérieure à celle généralement observée dans le milieu naturel hors influence minière, d'environ un facteur 3 (cf. Annexe 2). Par ailleurs, il existe une différence d'un ordre de grandeur entre les activités massiques des échantillons prélevés au niveau de l'exutoire/aval immédiat de la zone humide (sauf pour l'échantillon GT-

P5B) et ceux prélevés plus en aval dans le ruisseau du Brulé avec une diminution des activités massiques du point 56S_TYG_RUB1 vers le point 56S_BRU_B2.

L'ensemble des résultats Areva Mines et IRSN sont cohérents ; ils révèlent un marquage des sédiments en sortie de la zone humide mais également en aval plus éloigné des sédiments du ruisseau du Brulé. Compte tenu de l'aspect des sédiments (couleur ocre/grise) et des activités massiques des sédiments en aval immédiat de la zone humide, le marquage observé dans le ruisseau n°2 (Echantillons GT-P5A, GT-P5B, 56S_TYG_RUB1) pourrait être lié au rejet des eaux d'exhaure pendant l'exploitation.

3.2.4 Analyses de sols potentiellement sous influence du site

Areva Mines a réalisé en 2012 des prélèvements de sols sur le site de Ty Gallen et dans son environnement proche (cf. Figure 129) [31] :

- un prélèvement au niveau du chemin d'accès au site à l'entrée du site (Echantillon TG-C2) entre 0 et 45 cm de profondeur;
- un prélèvement dans la forêt (Echantillons GT-C11 et GT-C12) à deux profondeurs différentes (5-40 cm et à 40-50 cm) au niveau du circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation ;
- un prélèvement (Echantillons GT-C21 et GT-C22) à deux profondeurs différentes (2-15 cm et à 15-40 cm) au niveau du fossé longeant le chemin d'accès au hameau de Guern en Tal au niveau du circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation ;
- un prélèvement au niveau de l'ancien potager (Echantillon GT-C3A) entre 0 et 30 cm de profondeur;
- un prélèvement au niveau du talus qui surplombe la zone humide (Echantillon GT-C3B) entre 0 et 40 cm de profondeur;
- un prélèvement (Echantillons GT-C41 et GT-C42) à deux profondeurs différentes (0-80 cm et à 80-105 cm) en aval direct de l'exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation ;
- un prélèvement (Echantillons GT-C61 et GT-C62) à deux profondeurs différentes (5-15 cm et à 15-40 cm) au niveau de la zone humide.

En 2009, l'association RozGlas a réalisé un prélèvement de sols dans la zone humide (cf. Figure 129, localisation d'après les membres de l'association présents le jour de la visite de l'IRSN) qui a été analysé par la CRIIRAD [5].

Dans le cadre du contrôle de second niveau, des prélèvements de sols ont été effectués par l'IRSN en 2015 dans la zone humide (cf. Figure 129, points 56S_TYG_ZM1, 56S_TYG_ZM2 et 56S_TYG_ZM3). Les prélèvements 56S_TYG_ZM1 et 56S_TYG_ZM2 ont été subdivisés en deux échantillons (cf. Figure 130) :

- l'échantillon A correspondant à couche supérieure, de couleur noire, d'une dizaine de centimètres d'épaisseur ;
- l'échantillon B correspondant à du sol de couleur beige/ocre.

L'échantillon 56S_TYG_ZM3 correspond à un mélange des deux couches.

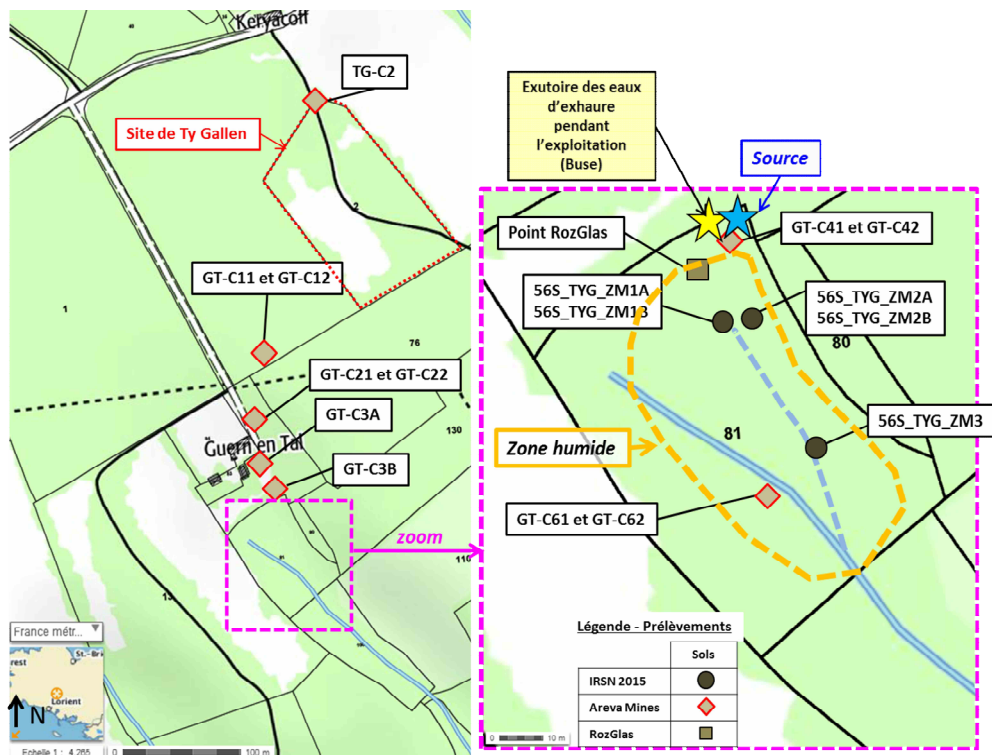


Figure 129 : Localisation des points de prélèvements de sols effectués par Areva Mines, l'IRSN et RozGlas sur et en champ proche de Ty Gallen (sur fond Géoportail ©IGN [4], d'après [31])

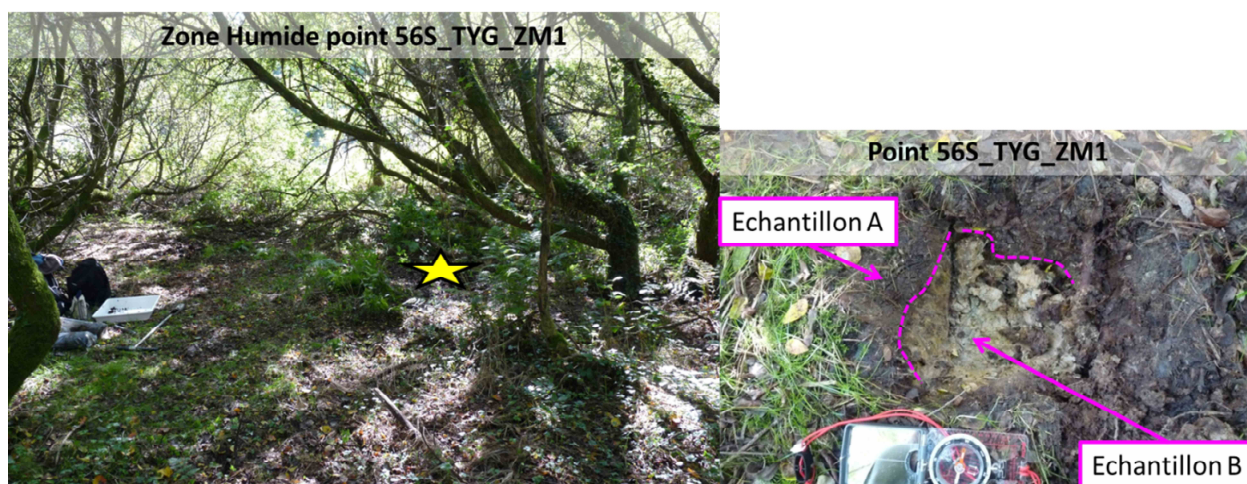


Figure 130 : Photographies du point de prélèvement des échantillons 56S_TYG_ZM1A et 56S_TYG_ZM1B (photographies ©IRSN)

Les résultats de l'analyse de la composition radiologique des sédiments sont présentés au Tableau 55. Pour les échantillons prélevés par l'IRSN et RozGlas, l'activité massique de ^{238}U peut être assimilée à celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Celle du ^{226}Ra peut être assimilée à l'activité massique du ^{214}Pb (ou du ^{214}Bi).

Tableau 55 : Résultats des analyses effectuées par Areva Mines, l'IRSN et RozGlas/CRIIRAD sur les sols prélevés en champ proche du site de Rosglas

Nom de l'échantillon	Commentaires		Activité en [Bq.kg ⁻¹]*				
			²³⁸ U	^{234m} Pa	²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi
TG-C2	Chemin d'accès au site de Ty Gallen	Prélèvement à 0-45 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	3 107 ± 1 358		6 064 ± 1 028		
GT-C11	Circuit des eaux d'exhaure pendant l'exploitation, dans la forêt	Prélèvement à 5-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	8 914 ± 3 860		10 909 ± 2 184		
GT-C12		Prélèvement à 40-50 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	5 516 ± 2 382		7 580 ± 1 281		
GT-C21	Fossé longeant le chemin d'accès au hameau de Guern en Tal	Prélèvement à 2 -15 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	1 262 ± 574		21 765 ± 2 482		
GT-C22		Prélèvement à 15-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	3 976 ± 1724		358 ± 398		
GT-C3A	Zone de l'ancien potager	Prélèvement à 0-30 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	46 ± 30		137 ± 54		
GT-C3B	Talus qui surplombe la zone humide	Prélèvement à 0-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	358 ± 159		520 ± 107		
GT-C41	Zone humide	Prélèvement en aval direct de l'exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation à 0-80 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	20 105 ± 8 699		18 558 ± 4 013		
GT-C42		Prélèvement en aval direct de l'exutoire des eaux d'exhaure pendant l'exploitation à 80-105 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	193 ± 93		465 ± 109		
RozGlas		Prélèvement à proximité des échantillons Areva Mines GT-C41 et GT-C42 (RozGlas/CRIIRAD 2009, [5])		24 000 ± 5 000		21 000 ± 2 200	18 200 ± 1 900
56S_TYG_ZM1A		Prélèvement de la couche supérieure (couche noire) avec un débit de dose au contact de 700 nSv/h (IRSN 2015)		56 000 ± 6 000		24 700 ± 2 400	24 400 ± 2 300
56S_TYG_ZM1B		Prélèvement de la couche inférieure (couche beige/ocre) avec un débit de dose au contact de 3200 nSv/h (IRSN 2015)		34 100 ± 3 400		28 300 ± 2 700	27 800 ± 2 600
56S_TYG_ZM2A		Prélèvement de la couche supérieure (couche noire) avec un débit de dose au contact de 700 nSv/h (IRSN 2015)		17 700 ± 2 000		12 600 ± 1 200	12 100 ± 1 100
56S_TYG_ZM2B		Prélèvement de la couche inférieure (couche beige/ocre) avec un débit de dose au contact de 700 nSv/h (IRSN 2015)		31 900 ± 3 200		29 700 ± 2 800	29 000 ± 2 700
56S_TYG_ZM3		Mélange de la couche supérieure (couche noire) et de la couche inférieure (couche beige/ocre) avec un débit de dose au contact de 1365 nSv/h (IRSN 2015)		17 100 ± 1 800		15 100 ± 1 600	14 900 ± 1 400
GT-C61		Prélèvement à 5-15 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	5 301 ± 2 292		8 005 ± 1 288		
GT-C62		Prélèvement à 15-40 cm de profondeur (Areva Mines 2012, [31])	36 ± 30		34 ± 1		

*exprimée en masse sèche

Site de Ty Gallen :

Les résultats des mesures réalisées sur l'échantillon TG-C2 (cf. Tableau 55) indiquent des activités massiques supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés cf. Annexe 2). Un déséquilibre entre l' ^{238}U et le ^{226}Ra en faveur du ^{226}Ra est également mis en évidence dans cet échantillon (rapport $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U} = 1,9$). Cet échantillon est considéré comme un stérile par Areva Mines [31] : le déséquilibre observé pourrait s'expliquer par l'altération des stériles par les eaux météoritiques.

Zone de l'ancien potager :

L'échantillon GT-C3A (cf. Tableau 55) présente des activités massiques de l'ordre de celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière (cf. Annexe 2).

Sols prélevés au niveau de l'ancien circuit des eaux d'exhaure :

Les résultats des mesures réalisées sur les échantillons de sols indiquent des activités massiques supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel hors influence minière pour les radionucléides mesurés (plus de 90 fois pour l' ^{238}U et le ^{226}Ra pour les échantillons GT-C41, 56S_TYG_ZM1 ou l'échantillon de RozGlas/CRIIRAD par exemple, cf. Tableau 55). Ces valeurs sont cohérentes avec les informations obtenues notamment par la mesure des débits de dose à savoir un marquage des sols concernés par la circulation des eaux d'exhaure pendant l'exploitation (cf. § 3.2.1 de la présente annexe).

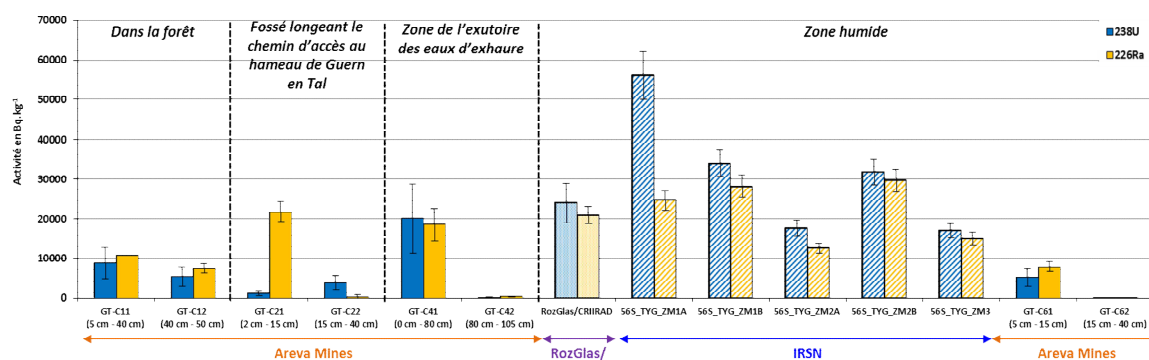


Figure 131 : Activité massique de l'uranium 238 et du radium 226 mesurée dans les échantillons de sols prélevés par Areva Mines en 2012, RozGlas/CRIIRAD en 2009 et l'IRSN en 2015

Par ailleurs, les échantillons GT-C41, GT-C42, GT-C61 et GT-C62 prélevés par Areva Mines présentent des activités massiques qui diminuent avec la profondeur (cf. Figure 131). Les mesures réalisées par Areva Mines sur ces deux zones (zone de l'exutoire et zone humide) indiquent que l'épaisseur de sols présentant des activités massiques élevées varie selon la zone de prélèvement, soit 80 cm environ au niveau de l'exutoire et une dizaine de centimètres au niveau du point GT-C61.

Pour les zones prélevées en forêt et dans le fossé, les valeurs des activités massiques à 40-50 cm de profondeur (Echantillons GT-C12 et GT-C22) sont encore nettement supérieures à celles généralement observées dans le milieu naturel pour les radionucléides mesurés (estimés à 200 Bq.kg⁻¹ pour les radionucléides de la chaîne de l'uranium, cf. Annexe 2).