

# COMPAGNIE FRANÇAISE DE MOKTA

*SITES MINIERS URANIFERES DE CORREZE*



## DOSSIER DE DECLARATION D'ARRET DEFINITIF DES TRAVAUX MINIERS

**TOME 3 : BILAN DES EFFETS DES TRAVAUX MINIERS  
ET DE LEUR ARRET SUR LA STABILITE DES TERRAINS EN  
SURFACE – ÉTUDE DES ALEAS ET RISQUES RESIDUELS**

**Site de la Barrière**

***PERMIS D'EXPLOITATION DE LA BARRIERE***

***Commune de Darnets (Corrèze)***

Novembre 2018  
n°18.118

*Siège* : Route de Saint-Pons – Ecoparc Phoros – 34600 BEDARIEUX  
Tél / (Fax) : 04 67 23 33 66 (60) – [siege.herault@mica-environnement.com](mailto:siege.herault@mica-environnement.com)

*Agence Lyon* : 582, allée de la Sauvegarde – 69009 LYON  
Tél : 04 78 64 84 75 – E-mail : [agence.lyon@mica-environnement.com](mailto:agence.lyon@mica-environnement.com)

*MICA Environnement NC* : 18, route du Sud, Normandie – 98800 NOUMEA  
Tél / Fax : (+687) 44 18 20 – E-mail : [contact@mica.nc](mailto:contact@mica.nc)



## SOMMAIRE

<b>1 - OBJECTIFS .....</b>	<b>8</b>
1.1 - OBJECTIFS DE L'ETUDE DE STABILITE .....	8
1.2 - OBJECTIFS DE L'ETUDE D'ALEAS .....	8
<b>2 - RAPPEL DES METHODES ET TRAVAUX D'EXPLOITATION.....</b>	<b>9</b>
2.1 - HISTORIQUE DES TRAVAUX.....	9
2.1.1 - Travaux de recherches .....	9
2.1.2 - Travaux miniers souterrains.....	9
2.2 - METHODE D'EXPLOITATION.....	10
2.3 - CARACTERISTIQUES ET LOCALISATION DES TRAVAUX SOUTERRAINS ET DES INFRASTRUCTURES .....	12
2.3.1 - Puits et galeries.....	13
2.3.2 - Dépilages .....	19
2.3.3 - Sondages de recherche .....	19
2.3.4 - Vides résiduels.....	22
2.3.5 - Matériels.....	25
2.3.6 - Chemins d'accès au carreau minier .....	25
2.4 - TRAITEMENT DU MINERAL .....	25
2.5 - PRODUCTION .....	25
<b>3 - INSTALLATIONS MINIERES DE SURFACE .....</b>	<b>26</b>
3.1 - CHEVALEMENT ET TREUIL D'EXTRACTION.....	29
3.2 - AUTRES EQUIPEMENTS.....	30
<b>4 - VERSES ET DEPOTS.....</b>	<b>30</b>
<b>5 - GESTION DES EAUX D'EXHAURE ET DE SURVERSE .....</b>	<b>30</b>
<b>6 - MESURES DEJA PRISES APRES L'ARRET DES TRAVAUX MINIERS .....</b>	<b>31</b>
6.1 - MISE EN SECURITE DES DEPILAGES .....	31
6.2 - OBTURATION DES OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR (ODJ).....	31
6.3 - DEMANTELEMENT DES INSTALLATIONS DE SURFACE.....	32
6.4 - MESURES CONCERNANT LE CARREAU MINIER .....	32
6.5 - MESURES CONCERNANT LA VERSE A STERILES.....	32
6.6 - SERVITUDES INSTITUTEES.....	33
6.7 - MESURES CONCERNANT LES DECOUVERTES .....	33
6.8 - MESURES CONCERNANT LES TAS DE MINERAIS LIXIVIES.....	33
6.9 - MESURES CONCERNANT LA GESTION DES EAUX.....	33
6.10 - PLANS COMPTEURS .....	33
6.11 - SURVEILLANCE AU TITRE DE L'ARTICLE L174-1 DU CODE MINIER.....	35
6.12 - SURVEILLANCE AU TITRE DE L'ARTICLE L174-2 DU CODE MINIER.....	35
<b>7 - MOUVEMENTS DE TERRAINS CONTEMPORAINS DES TRAVAUX MINIERS .....</b>	<b>35</b>

<b>8 - MOUVEMENTS DE TERRAINS POSTERIEURS A L'ARRET DES TRAVAUX MINIERS .....</b>	<b>36</b>
8.1 - VISITE DU 09/06/2008 .....	36
8.2 - VISITE DU 28/05/2018 .....	38
<b>9 - PRINCIPE DE L'ANALYSE DES RISQUES.....</b>	<b>40</b>
9.1 - DEFINITION ET METHODE D'EVALUATION DES ALEAS.....	40
9.1.1 - Définition .....	40
9.1.2 - Méthode d'évaluation.....	40
9.1.3 - Types d'aléas.....	40
9.1.4 - Qualification de l'intensité.....	41
9.1.5 - Qualification de la prédisposition .....	41
9.1.6 - Qualification de l'aléa.....	42
9.1.7 - Qualification de la vulnérabilité.....	42
9.1.8 - Qualification du risque.....	43
<b>10 - DESCRIPTION DES PHENOMENES POUVANT PORTER ATTEINTE AUX ENJEUX VULNERABLES .....</b>	<b>44</b>
10.1 - MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	44
10.1.1 - Effondrement généralisé.....	44
10.1.2 - Effondrement localisé.....	44
10.1.3 - Affaissement.....	45
10.1.4 - Crevasses.....	45
10.1.5 - Tassement.....	46
10.1.6 - Soulèvement.....	47
10.1.7 - Glissement.....	47
10.1.8 - Coulées.....	48
10.1.9 - Chute de blocs.....	48
10.2 - INONDATIONS – PERTURBATIONS HYDRAULIQUES.....	48
10.2.1 - Modification du régime des émergences.....	48
10.2.2 - Apparition de zones détrempées ou de marécages.....	49
10.2.3 - Inondation des sous-sols et points bas.....	49
10.2.4 - Modification du régime des cours d'eau.....	49
10.2.5 - Inondations brutales.....	50
10.2.6 - Pollution des eaux.....	50
10.3 - EMISSION DE GAZ DE MINE ET DE RAYONNEMENTS IONISANTS.....	50
10.4 - AUTRES ALEAS.....	50
10.4.1 - Phénomènes de combustion.....	50
10.4.2 - Installations et ouvrages miniers.....	50
10.5 - RECAPITULATIF DES PHENOMENES PRIS EN COMPTE .....	51
<b>11 - EVALUATION DES ALEAS SUR LE SITE DE LA BARRIERE .....</b>	<b>52</b>
11.1 - ALEA EFFONDREMENT LOCALISE.....	52
11.1.1 - Ouvrages concernés et caractéristiques des ouvrages.....	52
11.1.2 - Mécanismes d'instabilité.....	54
11.1.3 - Caractéristiques mécaniques des matériaux.....	54

11.1.4 - Calculs de stabilité à la rupture par flexion des bancs de toit (calculs rdm) .....	55
Galerie -14,90 : sommet de la zone dépilée non remblayée .....	57
Galerie -20.....	58
Galerie -40.....	60
11.1.5 - Coulissage du toit de galerie par effet tiroir .....	62
Galerie -14,90 : sommet de la zone dépilée non remblayée .....	65
Galerie -20.....	66
Galerie -40.....	66
11.1.6 - Calculs de risque d'apparition de fontis en surface= effondrement brutal .....	67
Galerie -14,90 : sommet de la zone dépilée non remblayée .....	70
Galerie -20.....	72
Galerie - 40.....	74
11.1.7 - Débourageage du puits .....	75
11.1.8 - Débourageage du montage 2C2.....	78
11.2 - ALEA TASSEMENT .....	81
11.3 - ALEA INONDATIONS - PERTURBATIONS HYDRAULIQUES .....	82
11.3.1 - Apparition de zones détremées .....	82
11.4 - ALEA EMISSIONS DE GAZ DE MINE ET DE RAYONNEMENTS IONISANTS .....	82
11.5 - INSTALLATIONS ET OUVRAGES MINIERS .....	83
11.6 - RECAPITULATIF DES ALEAS ET SYNTHESE CARTOGRAPHIQUE.....	84
<b>12 - ENJEUX SUR LE SITE DE LA BARRIERE EXPOSES AUX ALEAS .....</b>	<b>86</b>
12.1 - SANTE ET SECURITE DU PERSONNEL SUR SITE.....	86
12.2 - SECURITE ET SALUBRITE PUBLIQUES.....	86
12.3 - SECURITE DES PERSONNES ET DES ANIMAUX .....	87
12.4 - EDIFICES PUBLICS ET PRIVES.....	87
12.5 - CONSERVATION DES VOIES DE COMMUNICATION .....	87
12.6 - RESEAUX DE DISTRIBUTION.....	88
12.7 - CONSERVATION DE LA MINE ET DES MINES VOISINES.....	88
12.8 - PROTECTION DE LA NATURE ET DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU MILIEU ENVIRONNANT .....	89
12.9 - RESSOURCE EN EAU .....	89
12.9.1 - Eaux superficielles.....	89
12.9.2 - Eaux souterraines.....	89
12.9.3 - Zones humides .....	90
12.10 - PATRIMOINE ARCHEOLOGIQUE.....	90
12.11 - PATRIMOINE HISTORIQUE ET ARCHITECTURAL .....	90
12.12 - INTERETS AGRICOLES.....	90
<b>13 - ANALYSE DES RISQUES POUVANT PORTER ATTEINTE AUX INTERETS MENTIONNES A L'ARTICLE L.161-1 DU CODE MINIER .....</b>	<b>91</b>

---

<b>14 - MESURES ET TRAVAUX ENVISAGES POUR ELIMINER, MAITRISER OU PREVENIR LES RISQUES IMPORTANTS .....</b>	<b>93</b>
14.1 - EFFONDREMENT LOCALISE AU DROIT DES TRAVAUX MINIERES : APPARITION DE FONTIS AU NIVEAU DES GALERIES -14,90 OU -20 .....	93
14.2 - TASSEMENT DES REMBLAIS DU PUIITS ET DU MONTAGE 2C2 : RISQUE DE DEBOURRAGE ET D'EFFONDREMENT LOCALISE .....	93
14.3 - APPARITION DE ZONES DETREMPEES .....	94
14.4 - EMISSION DE GAZ DE MINE (RADON) ET DE RAYONNEMENTS IONISANTS .....	94
<b>15 - ETUDE DES RISQUES IMPORTANTS SUBSISTANTS APRES MISE EN ŒUVRE DES MESURES PERMETTANT DE PRESERVER LES INTERETS A PROTEGER.....</b>	<b>95</b>

## LISTE DES DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES

Coupes des travaux miniers souterrains et zones remblayées	Document n°18.118/ T3-1	Dans le texte
Plan du niveau -14,90 (9ème tranche) à 1 : 250	Document n°18.118/ T3-2	Dans le texte
Plan du niveau -17,63 (7ème tranche) à 1 : 250	Document n°18.118/ T3-3	Dans le texte
Plan du niveau -26,64 (2ème tranche) à 1 : 250	Document n°18.118/ T3-4	Dans le texte
Plan du niveau -40 avec niveaux superposés à 1 : 250	Document n°18.118/ T3-5	Dans le texte
Plan de localisation des sondages et coupes radiométriques à 1 : 250	Document n°18.118/ T3-6	Dans le texte
Coupes des travaux AB et CD et sondages radiométriques (échelle graphique)	Document n°18.118/ T3-7	Dans le texte
Coupe de localisation des zones de vides résiduels supposés (échelle graphique)	Document n°18.118/ T3-8	Dans le texte
Plan de localisation des zones de vides résiduels supposés à 1 : 250	Document n°18.118/ T3-9	Dans le texte
Planche photographique de la visite du 28/05/2018	Document n°18.118/ T3-10	Dans le texte
Carte de synthèse des aléas à 1 : 500	Document n°18.118/ T3-11	Dans le texte

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de la méthode d'exploitation par tranches montantes auto-remblayées .....	10
Figure 2 : Coupes des travaux miniers souterrains et zones défilées et remblayées par foisonnement des épontes (en jaune sur le plan) .....	11
Figure 3 : Avancement des travaux et la production associée entre 1959 et 1961.....	13
Figure 4 : Photographie aérienne du site du 27 juin 1950 avant travaux (source IGN).....	26
Figure 5 : Photographie aérienne du site du 3 juillet 1959 pendant travaux (source IGN) .....	27
Figure 6 : Photographie aérienne du site de 1969 après travaux et démantèlement des installations de surface (source IGN) .....	27
Figure 7 : Photographie aérienne du site du 7 septembre 1977 : aménagement du terrain (plateforme, chemin et bâtiment) par le propriétaire actuel (source IGN) .....	28
Figure 8 : Photographie aérienne actuelle du site (source IGN) .....	28
Figure 9 : Chevalement et local du treuil du site minier de la Vedrenne (1959), comparables à ceux autrefois présents sur le site de la Barrière .....	29
Figure 10 : Plan compteur du site de la Barrière du 25/06/2013 .....	34
Figure 11 : Extrait de la fiche de chantier établie par AREVA en 2008 concernant le montage .....	37
Figure 12 : Extrait de la fiche de chantier établie par AREVA en 2008 concernant le puits .....	37
Figure 13 : Tableau de définition du niveau d'aléa .....	42
Figure 14 : Tableau de définition du niveau de vulnérabilité .....	43
Figure 15 : Tableau de définition du niveau de risque.....	43
Figure 16 : Tableau récapitulatif des aléas retenus pour le site de la Barrière.....	51
Figure 17 : Carte géologique du niveau -20 .....	53
Figure 19 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 0,50 m) de la galerie -20 .....	58
Figure 20 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 1 m) de la galerie -20 .....	59
Figure 21 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 0,50 m) de la galerie -40 .....	60
Figure 22 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 1 m) de la galerie -40 .....	61
Figure 23 : Tableau de classification des sols (Annexe E.1 du Fascicule 62) .....	62
Figure 24 : Courbes de frottement unitaire limite.....	63
Figure 25 : Schéma du coulisage du toit de galerie par effet tiroir .....	64
Figure 26 : Calculs de stabilité par effet tiroir de la galerie -14,90 .....	65
Figure 27 : Calculs de stabilité par effet tiroir de la galerie -20 .....	66
Figure 28 : Calculs de stabilité par effet tiroir de la galerie -40 .....	66
Figure 29 : Schéma de remontée de cloche (source INERIS) .....	67
Figure 30 : Formule de remontée de cloche établie par MICA Environnement .....	68
Figure 31 : Diverses formules permettant d'établir le risque de remontée de cloches .....	69
Figure 32 : Calculs de remontée de cloche pour la galerie -14,90 .....	70
Figure 33 : Calcul du cône de tassement en surface pour la galerie -14,90 .....	71
Figure 34 : Calculs de remontée de cloche pour la galerie -20 .....	72
Figure 35 : Calcul du cône de tassement en surface pour la galerie -20 .....	73
Figure 36 : Calculs de remontée de cloche pour la galerie -40 .....	74
Figure 37 : Schéma du débouillage d'un puits et de la formation d'un cône d'effondrement.....	75

---

Figure 38 : Schéma et formules de calculs du débouillage d'un puits et de la formation d'un cône d'effondrement .....	76
Figure 39 : Calculs du diamètre du fontis en cas de débouillage du Puits.....	76
Figure 40 : Classes d'intensité en fonction du diamètre de l'effondrement.....	77
Figure 41 : Schéma du débouillage d'un montage et de la formation d'un cône d'effondrement .	78
Figure 42 : Schéma et formules de calculs du débouillage d'un montage et de la formation d'un cône d'effondrement .....	79
Figure 43 : Calculs du diamètre du fontis en cas de débouillage du montage 2C2 (vide résiduel de 1,5m de hauteur) .....	79
Figure 44 : Calculs du diamètre du fontis en cas de débouillage du montage 2C2 (vide résiduel de 3m de hauteur).....	80
Figure 45 : Classes d'intensité en fonction du diamètre de l'effondrement.....	80
Figure 46 : Classes d'intensité de l'aléa tassement.....	81
Figure 47 : Classes d'intensité de l'aléa zone détrempeée .....	82
Figure 48 : Classes d'intensité en fonction de la concentration en radon dans l'air .....	82
Figure 49 : Tableau récapitulatif des aléas retenus et de leur classe d'intensité .....	84
Figure 50 : Carte de localisation des réseaux (source : DICT) .....	88
Figure 51 : Classes d'intensité du niveau de risque .....	91
Figure 52 : Tableau de synthèse de l'évaluation des risques miniers sur le site de la Barrière.....	92

## 1 - OBJECTIFS

### ***1.1 - OBJECTIFS DE L'ETUDE DE STABILITE***

Les travaux miniers et l'exploitation minière sur le site de la Barrière ont induit des déstabilisations du sol et du sous-sol. L'étude de stabilité réalisée vise à déterminer si des mouvements de terrain peuvent encore se produire et, le cas échéant, quantifier ces mouvements.

Les mouvements examinés sont :

- Pour les exploitations à ciel ouvert : les chutes de pierres, écoulement rocheux, glissement et tassements. Ce thème ne sera pas abordé ici compte tenu de l'exploitation exclusivement souterraine ;
- Pour les exploitations souterraines : l'effondrement ou l'affaissement localisé, la subsidence ou tout autre mouvement pouvant affecter les terrains de surface.

### ***1.2 - OBJECTIFS DE L'ETUDE D'ALEAS***

Un bilan des aléas pouvant porter atteinte aux intérêts à protéger est dressé, les risques existants évalués en fonction des enjeux vulnérables aux aléas présents dans leur zone de réalisation et les mesures nécessaires pour maîtriser ou réduire ces risques définies.

Une attention toute particulière a été apportée à l'exhaustivité de l'analyse des aléas et des enjeux et à l'évaluation des risques en découlant.

**L'étude des aléas a été conduite en suivant la méthodologie proposée par l'INERIS en 2018 (rapport 17-164640-01944A, mettant à jour le rapport DRS-06-51198/RO1 du 4 mai 2006).**

Les mesures compensatoires proposées sont techniquement raisonnables et proportionnées aux risques mis en évidence, en ne considérant que les risques strictement liés à l'exploitation minière.

## 2 - RAPPEL DES METHODES ET TRAVAUX D'EXPLOITATION

Les travaux miniers et la méthode d'exploitation employée sur le site de la Barrière, décrits en détail dans le mémoire (tome 1), sont rappelés dans ce chapitre pour la bonne compréhension de l'étude.

### **2.1 - HISTORIQUE DES TRAVAUX**

#### **2.1.1 - Travaux de recherches**

Préalablement à l'exploitation, la formation a été reconnue :

- En 1958, à partir de la surface, par des sondages wagon-drill qui testèrent un niveau -20 ;
- D'avril 1959 à juin 1960, par des travaux de reconnaissance minière à partir d'un puits d'une section de 5,7 m<sup>2</sup>. Après reconnaissance du niveau -20 où 68 m de galeries ont été réalisées, le puits fut ravalé (section élargie à 10 m<sup>2</sup> de haut en bas) jusqu'à la cote -44,60 pour permettre l'exécution d'un niveau -40, ce dernier niveau s'est avéré quasiment stérile. Au total 137 mètres de galeries ont été tracées et 855 mètres de sondages percutants ont été forés (depuis le fond) ;
- Le niveau -40 était relié au niveau -20 par une cheminée appelée 2C1 ;
- Le niveau -20 était relié à la surface par une cheminée d'aérage nommée 2C2.

A l'issue de ces travaux de reconnaissance (lesquels produisirent eux-mêmes 316 tonnes de minerai sec à teneur de 3,02 ‰ contenant 955,04 kg d'uranium métal) les travaux d'exploitation du minerai restant furent entrepris.

#### **2.1.2 - Travaux miniers souterrains**

A partir du même puits, les travaux de dépilage par tranches unimontantes remblayées ont débutés au mois de juin 1960 au niveau -26,60 et se sont élevés, sur une relevée de 15,30 m, jusqu'au niveau -11,30, niveau auquel la minéralisation, qui s'était progressivement appauvrie, a à peu près complètement disparu.

De notables variations ont été constatées dans la surface minéralisée aux différents niveaux dans le plan vertical de la formation.

Les travaux de dépilage se sont poursuivis et terminés au mois de février 1961 sur la disparition de la minéralisation au niveau -31.

## 2.2 - METHODE D'EXPLOITATION

La méthode d'exploitation ayant été utilisée dans les travaux miniers de la Barrière est la méthode par **tranches unimontantes remblayées** (= tranches montantes auto-remblayées).

Les tranches horizontales se succèdent en montant, chaque tranche étant creusée par volées successives de 2 à 2,5 m de longueur et 2,5 à 3 m de hauteur. Le minerai abattu est raclé jusqu'au montage, tombe à travers une grille de calibrage puis est soutiré. Le vide créé après évacuation du minerai est comblé par abattage des épontes stériles. Le niveau est rétabli par le foisonnement des produits abattus (voir figure ci-dessous).

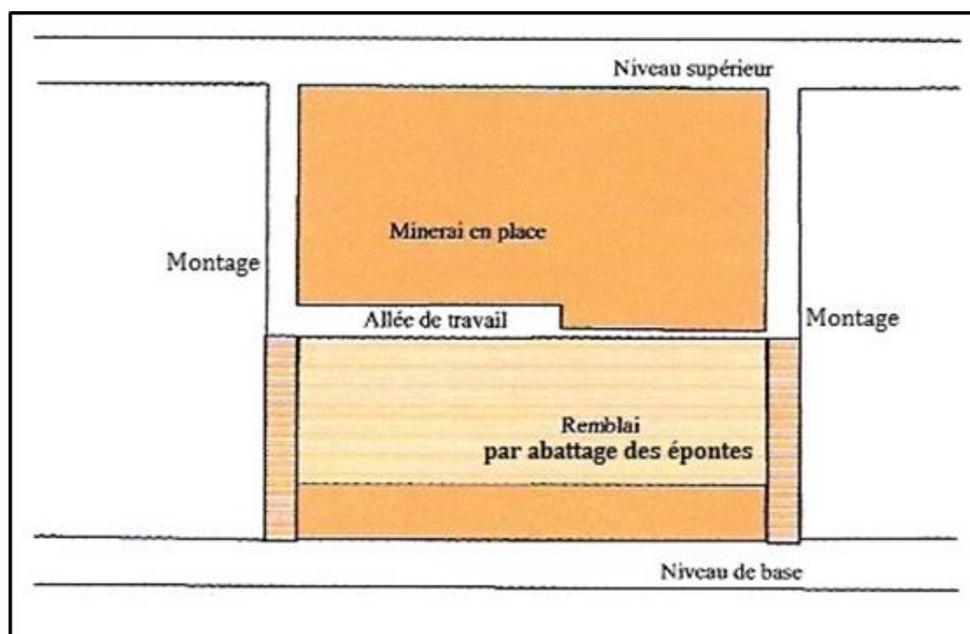


Figure 1 : Schéma de la méthode d'exploitation par tranches montantes auto-remblayées

Peu d'informations sont disponibles concernant les boisages. Le rapport annuel de 1961 fait état de « galeries boisées » et de « montages boisés à cadres jointifs – section 3,75 m<sup>2</sup> ».

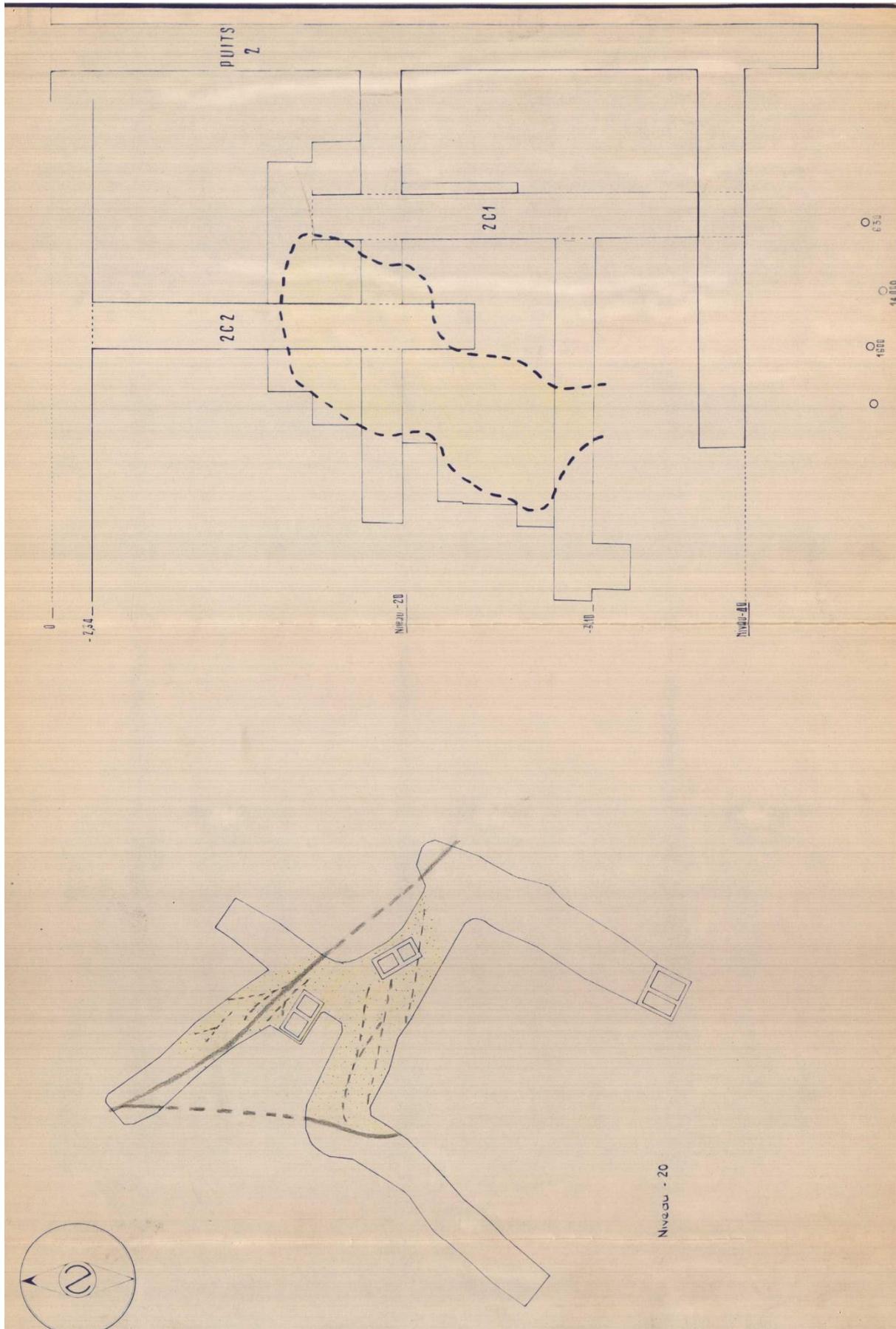


Figure 2 : Coupes des travaux miniers souterrains et zones défilées et remblayées par foisonnement des épontes (en jaune sur le plan)

### 2.3 - CARACTERISTIQUES ET LOCALISATION DES TRAVAUX SOUTERRAINS ET DES INFRASTRUCTURES

<i>Coupes des travaux miniers souterrains et zones remblayées</i>	<i>Document n°18.118 / T3-1</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Plan du niveau -14,90 (9<sup>ème</sup> tranche) à 1 : 250</i>	<i>Document n°18.118 / T3-2</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Plan du niveau -17,63 (7<sup>ème</sup> tranche) à 1 : 250</i>	<i>Document n°18.118 / T3-3</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Plan du niveau -26,64 (2<sup>ème</sup> tranche) à 1 : 250</i>	<i>Document n°18.118 / T3-4</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Plan du niveau -40 avec niveaux superposés à 1 : 250</i>	<i>Document n°18.118 / T3-5</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Plan de localisation des sondages et coupes radiométriques à 1 : 250</i>	<i>Document n°18.118 / T3-6</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Coupes des travaux AB et CD et sondages radiométriques (échelle graphique)</i>	<i>Document n°18.118 / T3-7</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Coupe de localisation des zones de vides résiduels supposés (échelle graphique)</i>	<i>Document n°18.118 / T3-8</i>	<i>Dans le texte</i>
<i>Plan de localisation des zones de vides résiduels supposés à 1 : 250</i>	<i>Document n°18.118 / T3-9</i>	<i>Dans le texte</i>

Il s'agit de l'emprise et de la situation du puits d'extraction, des galeries, des montages.

Les travaux souterrains et infrastructures ont consisté en :

- Un puits de 10 m<sup>2</sup> de section et 45,65 m de profondeur ;
- Galeries : total de 668 ml réparties en :
  - ✓ Niveau -20 : 310 ml ;
  - ✓ Niveau -30 : 28 ml ;
  - ✓ Niveau -40 : 330 ml.
- Montages et cheminées : 69 ml au total.

Le tableau ci-dessus donne l'avancement des travaux et la production associée entre 1959 et 1961 :

			1959	1960	1961	Total
Tonnage brut (t)	Niveau -20	Traçages	338,39	2876,61	395	<b>3 610</b>
		Dépilages				
	Niveau -40	Traçages				
		Dépilages				
Tonnage net (t)	Niveau -20	Traçages	316,33		203	<b>1 934,3</b>
		Dépilages		1151,4		
	Niveau -40	Traçages		263,5		
		Dépilages				
U contenu (kg)	Niveau -20	Traçages	1415		727	<b>6 775,4</b>
		Dépilages		4643		
	Niveau -40	Traçages				
		Dépilages				
Teneur (‰)	Niveau -20	Traçages	4,15		3,50	<b>3,50</b>
		Dépilages		3,34		
	Niveau -40	Traçages				
		Dépilages				

			1959	1960	1961	Total
Métrage (m)		Puits	44,6			<b>44.6</b>
		Montage		37,8		<b>37.8</b>
	Niveau - 20	Traçages	68	54,1		<b>310</b>
	Niveau - 40	Traçages	8,2			<b>330</b>

Figure 3 : Avancement des travaux et la production associée entre 1959 et 1961

### 2.3.1 - Puits et galeries

Les travaux miniers du site de la Barrière sont reliés à la surface par un puits de 10 m<sup>2</sup> de section rectangulaire (4 m x 2,5 m) et 45,60 m de profondeur, implanté dans la partie médiane du gîte. Ce puits dessert deux niveaux principaux à -20 et -40 mètres de profondeur.

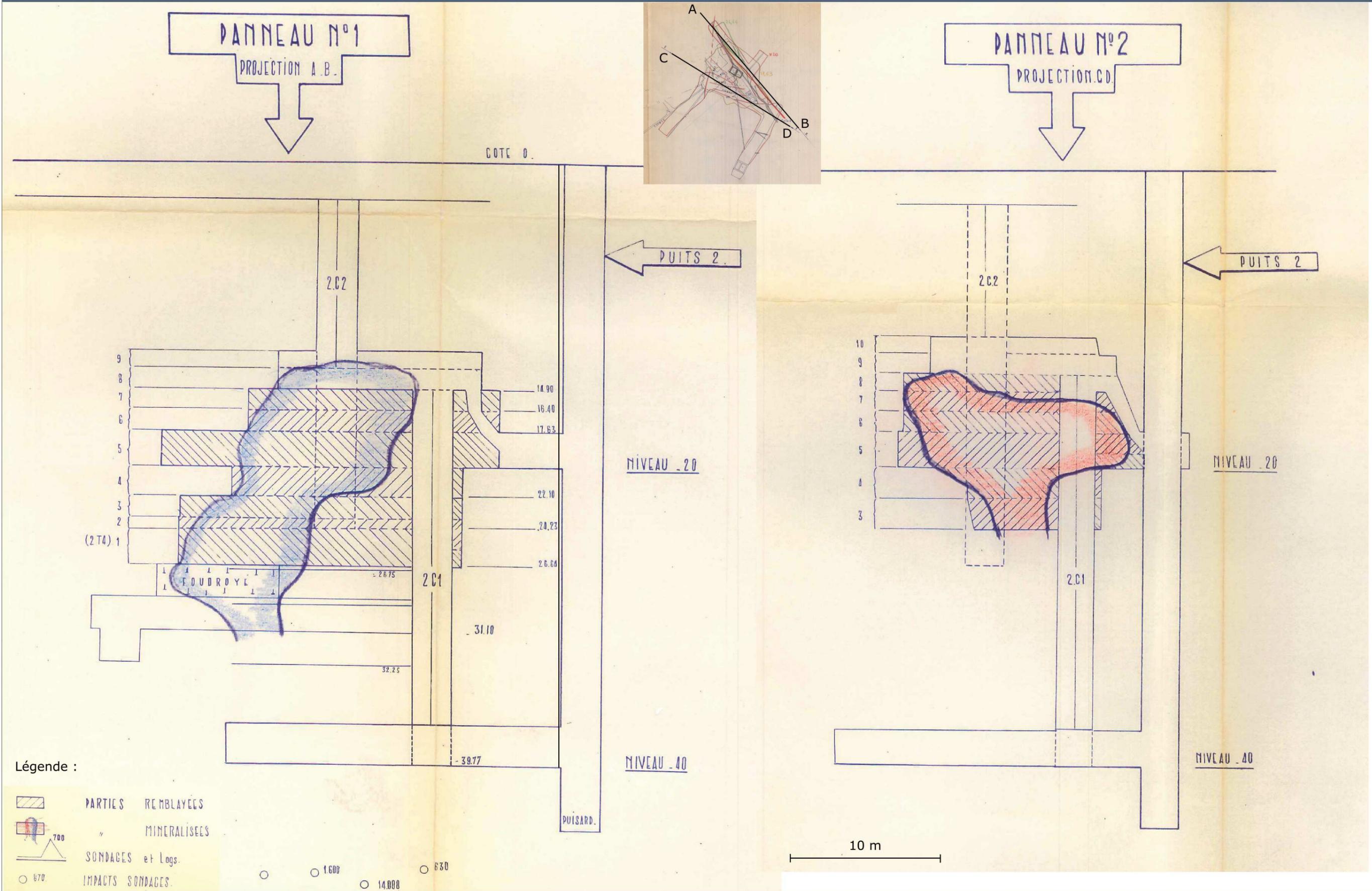
Au niveau -20, 310 mètres de galeries ont été tracées pour reconnaître les principales formations repérées depuis la surface.

Au niveau -40, 330 mètres de galeries ont été tracées en direction Nord vers la formation « minette du nord », seule reconnue économiquement exploitable.

Un montage (dimensions 3 x 1,5 m) relie le niveau -20 à la surface (cheminée 2C2). Un montage relie les deux niveaux -20 et -40 (cheminée 2C1).

La tenue des terrains très médiocre nécessitait un soutènement par cadres en bois très dense.

# COUPES DES TRAVAUX MINIER SOUTERRAINS ET ZONES REEMPLAYEES



Légende :

-  PARTIES REEMPLAYEES
-  " MINERALISEES
-  SONDAGES et Logs.
-  IMPACTS SONDAGES.

-  870
-  1.600
-  14.000
-  830



628840

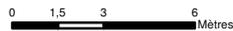
628860



19 - La Barrière  
Travaux miniers  
Niveau 14,90, 9ème tranche



Fait par : sgerland le : 29/11/2018



1:250

Système de coordonnées : RGF 1993 - Lambert 93

6481380

6481380

6481360

6481360

6481340

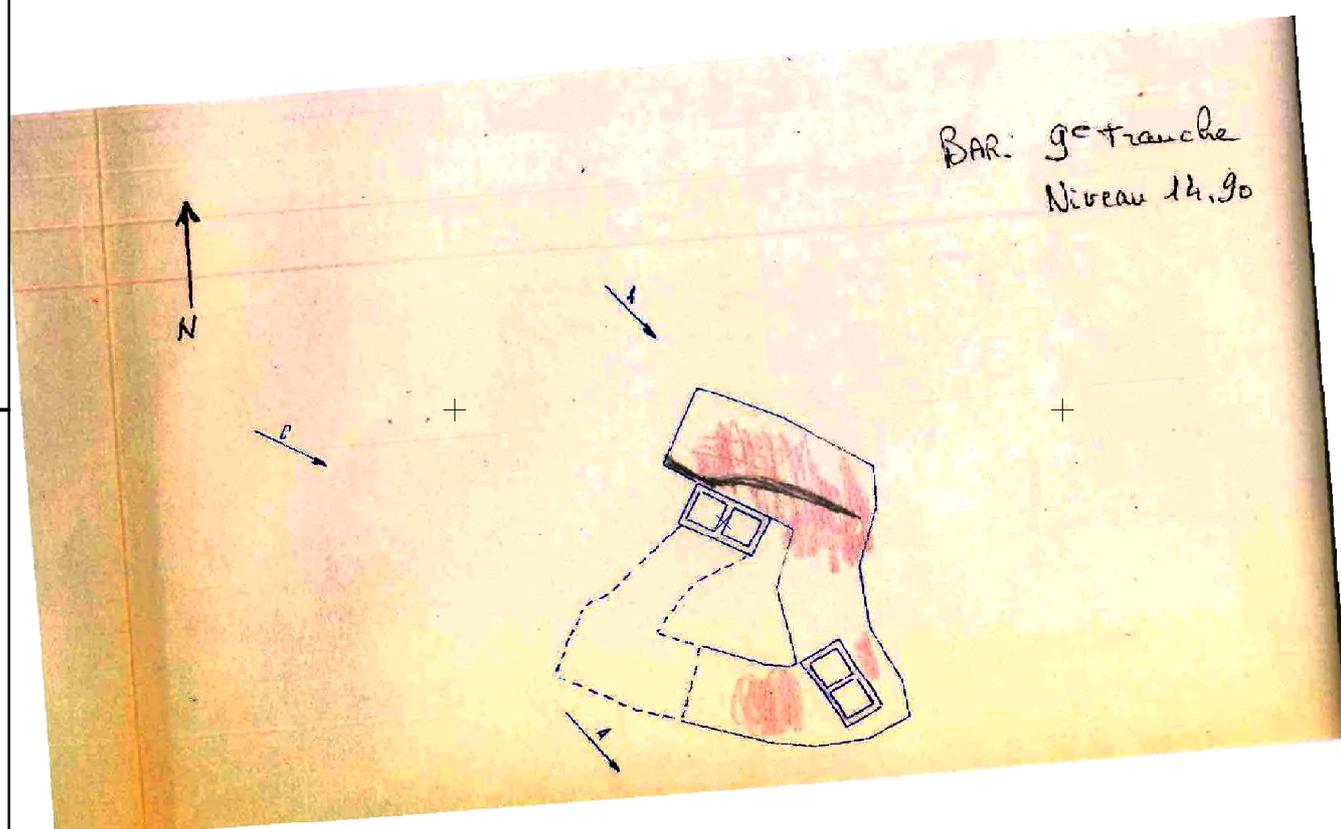
6481340

6481320

6481320

628840

628860



DOCUMENT 18-118/T3-02

628840

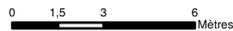
628860



19 - La Barrière  
Travaux miniers  
Niveau 17,63, 7ème tranche



Fait par : sgerland le : 29/11/2018



1:250

Système de coordonnées : RGF 1993 - Lambert 93

6481380

6481380

6481360

6481360

6481340

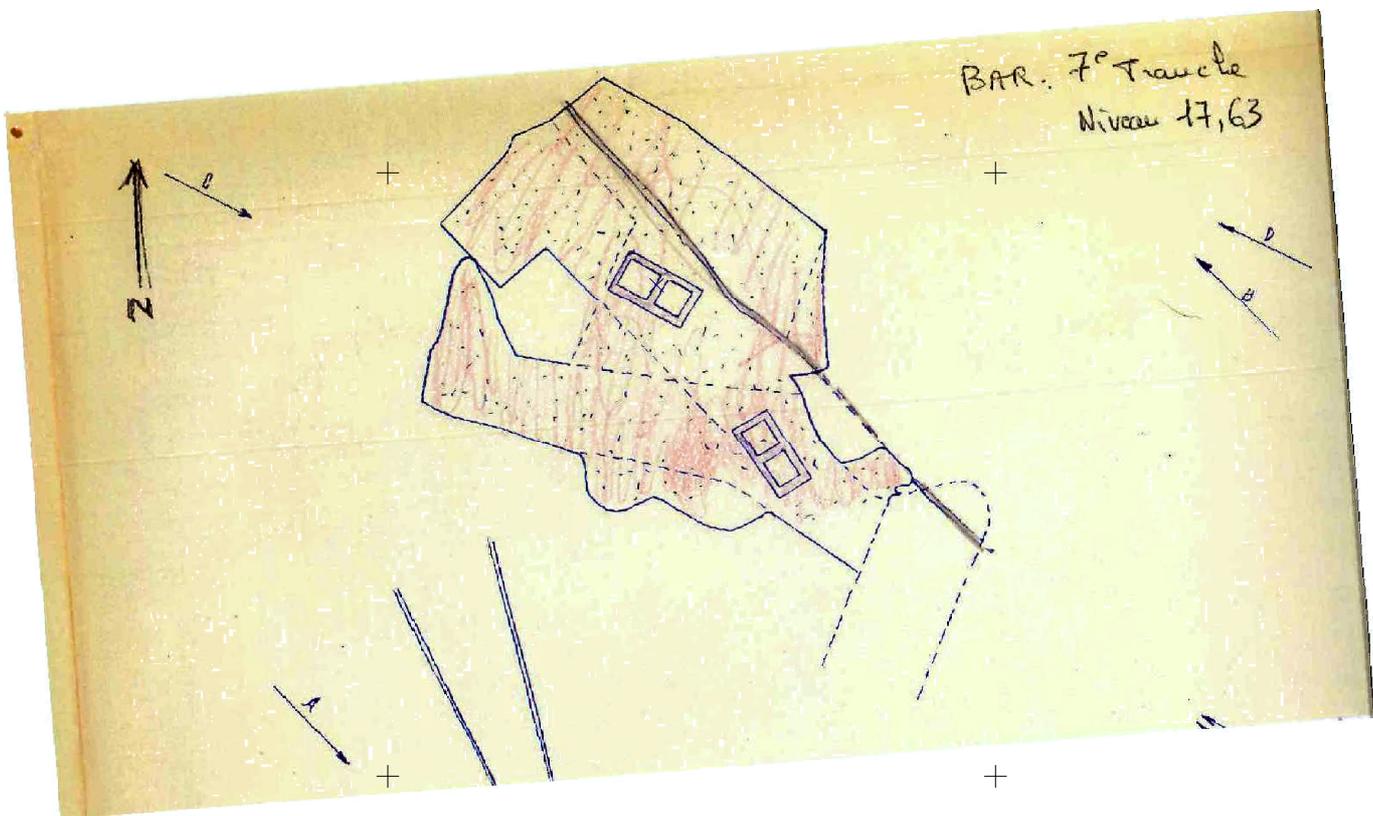
6481340

6481320

6481320

628840

628860



DOCUMENT 18-118/ T3-03

628840

628860



**19 - La Barrière**  
Travaux miniers  
Niveau 26,64, 2ème tranche

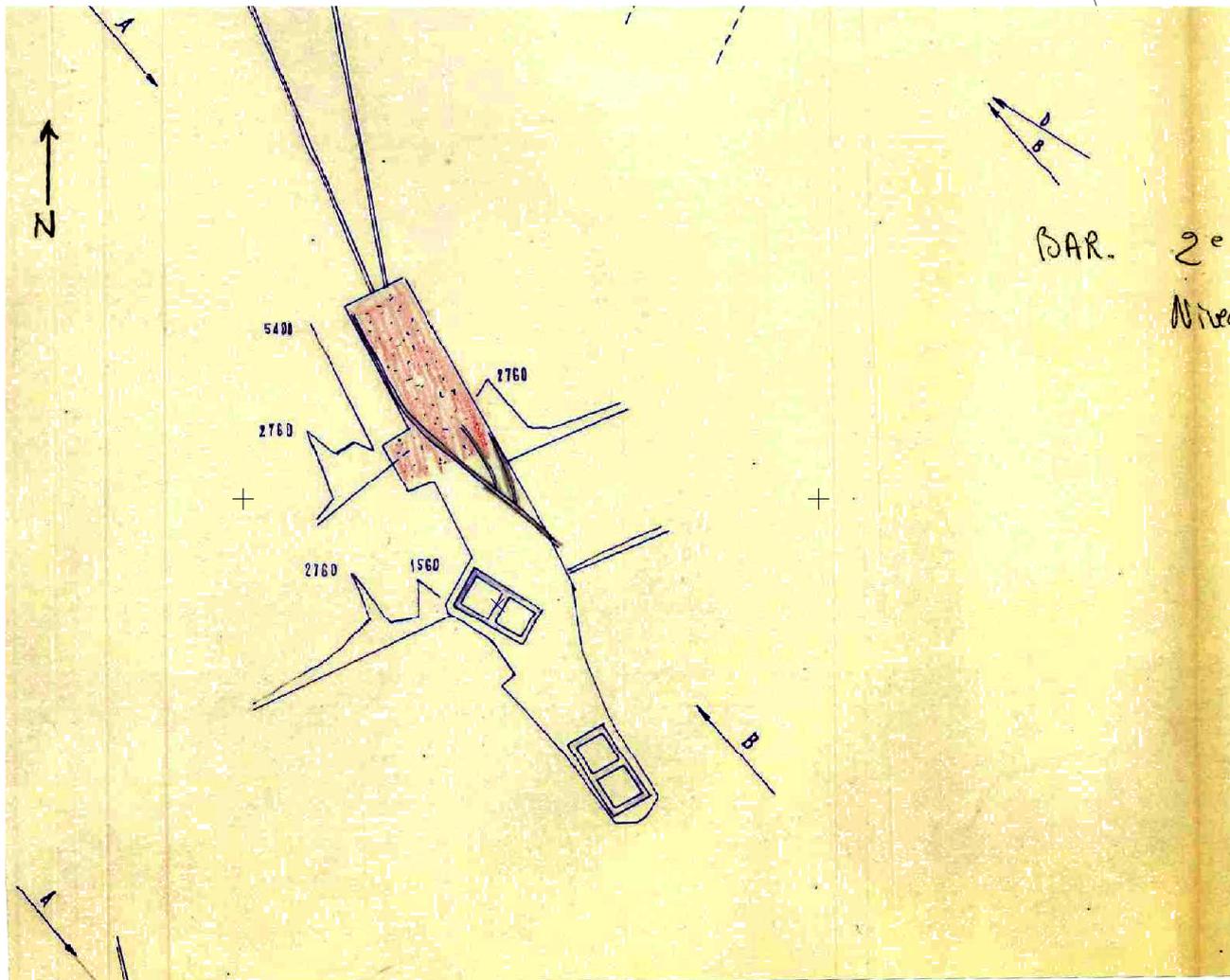


Fait par : sgerland le : 29/11/2018



1:250

Système de coordonnées : RGF 1993 - Lambert 93



6481380

6481380

6481360

6481360

6481340

6481340

6481320

6481320

628840

628860

DOCUMENT 18-118/T3-04

628840

628860



# 19 - La Barrière Travaux miniers Niveaux superposés sur fond de plan du niveau -40



Fait par : sgerland le : 29/11/2018



1:250

Système de coordonnées : RGF 1993 - Lambert 93

6481380

6481360

6481340

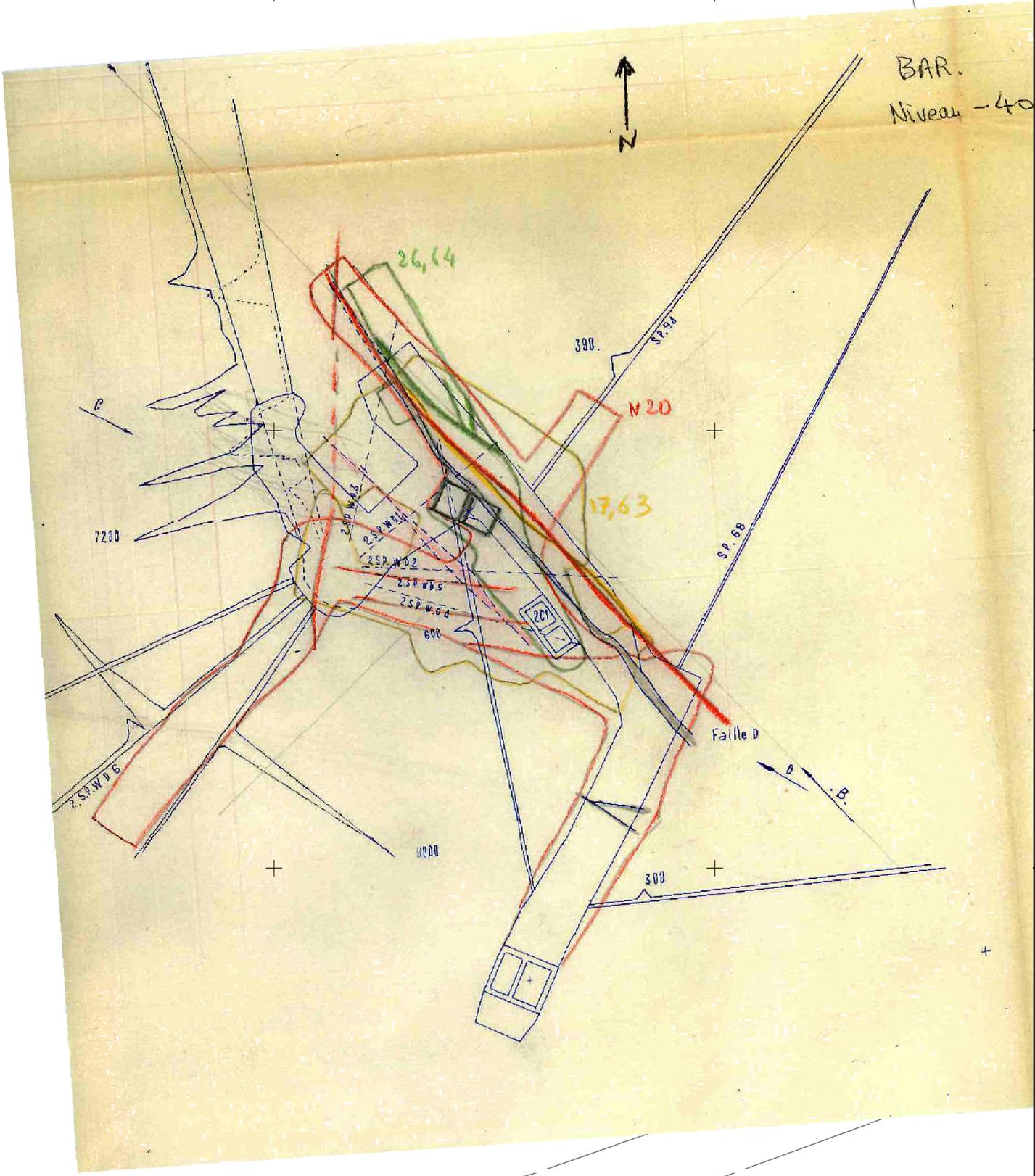
6481320

6481380

6481360

6481340

6481320



DOCUMENT 18-118/T3-05

628840

628860

Nom du document : BAR-DADT-travaux-miniers-N40

### **2.3.2 - Dépilages**

Le gîte a été dépilé par la méthode des tranches montantes remblayées.

Un plan et une coupe figurant dans le rapport annuel de 1961 présente l'étendue de la zone dépilée (figure 2). Aucune autre information n'est disponible.

### **2.3.3 - Sondages de recherche**

Les sondages de recherche réalisés depuis la surface sont anciens (1958 à 1960) et ne sont pas géoréférencés.

De diamètre usuel 64 mm, ils étaient inclinés afin de traverser les zones supposées minéralisées organisées le long de plans faillés de pendage proche de la verticale. Le faible diamètre des sondages permettait cependant un tubage PVC de 50 mm environ et de descendre une sonde radiométrique de 22 mm de diamètre reliée à la surface par câble, permettant d'enregistrer la radioactivité des zones minéralisées traversées. Cette opération de radiocarottage terminée, le tube était enlevé lorsque cela était possible et le sondage rebouché avec les cuttings.

La majeure partie des sondages a été réalisée depuis les travaux miniers souterrains. Ces sondages ne peuvent donc être retrouvés. Le nombre précis et la position de tous les sondages réalisés lors des travaux ne sont pas connus. Aucune installation de surface n'est liée aux sondages, ceux-ci ayant été réalisés avec un matériel léger mobile.

Le plan présenté ci-après localise les sondages radiométriques réalisés ainsi que deux coupes de travaux positionnant également ces sondages.

628820

628840

628860



# 19 - La Barrière

Travaux miniers  
Plan de localisation des sondages et coupes radiométriques

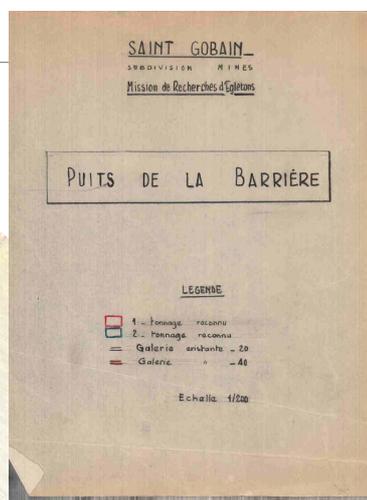


Fait par : sgerland le : 24/09/2018

0 1,5 3 6 Mètres

1:250

Système de coordonnées : RGF 1993 - Lambert 93



6481380

6481360

6481340

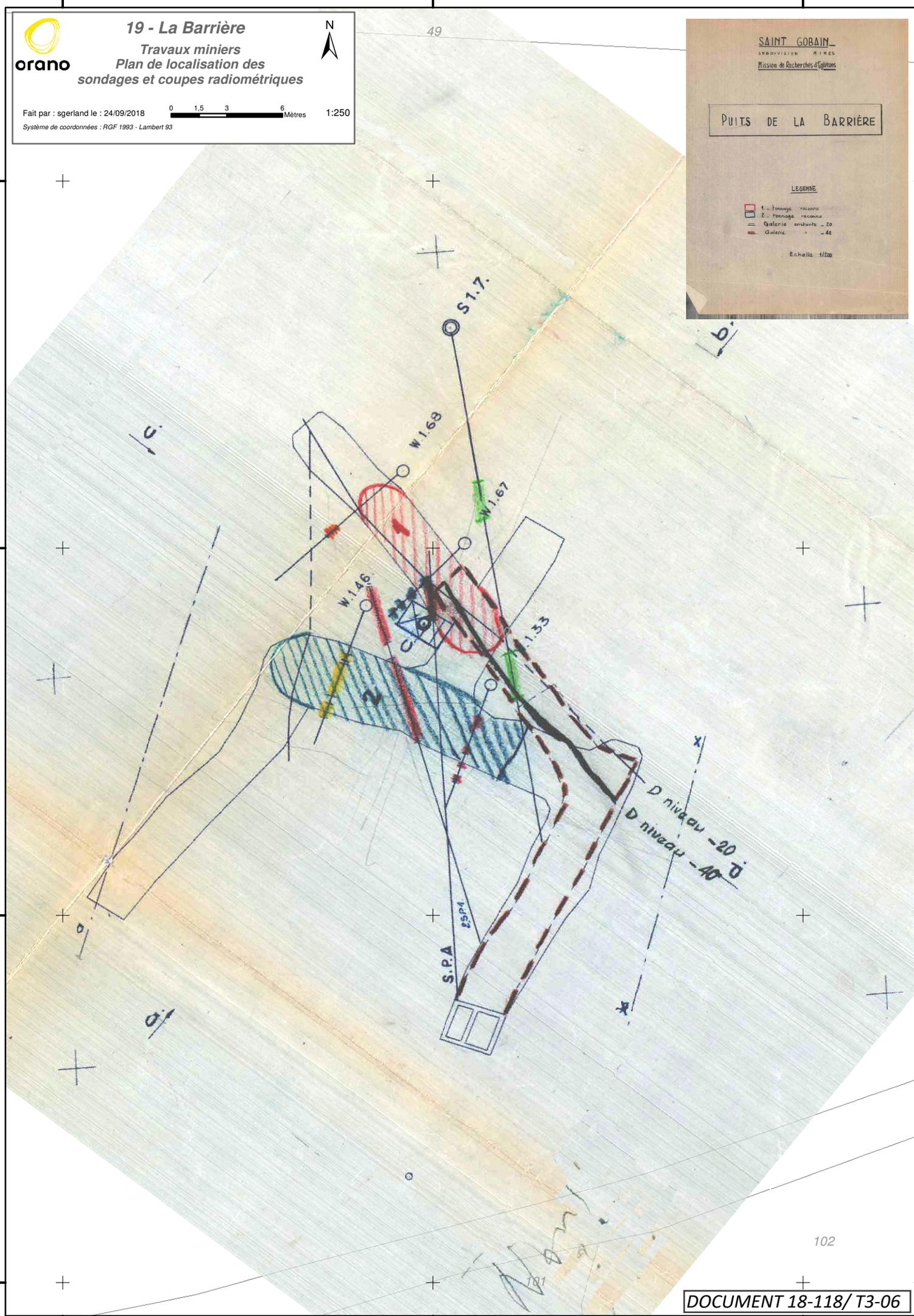
6481320

6481380

6481360

6481340

6481320



628820

628840

628860

DOCUMENT 18-118/T3-06

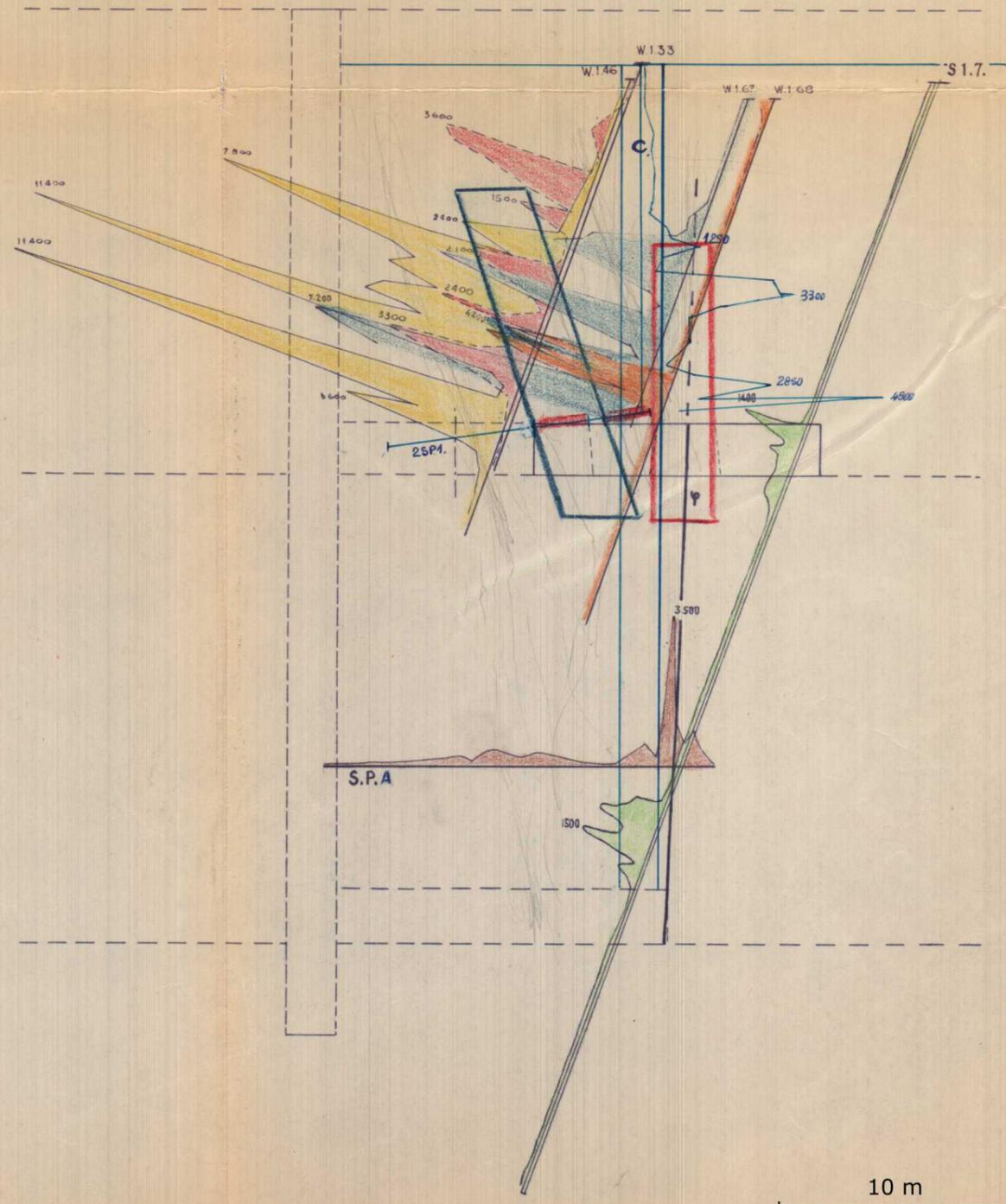
102

101

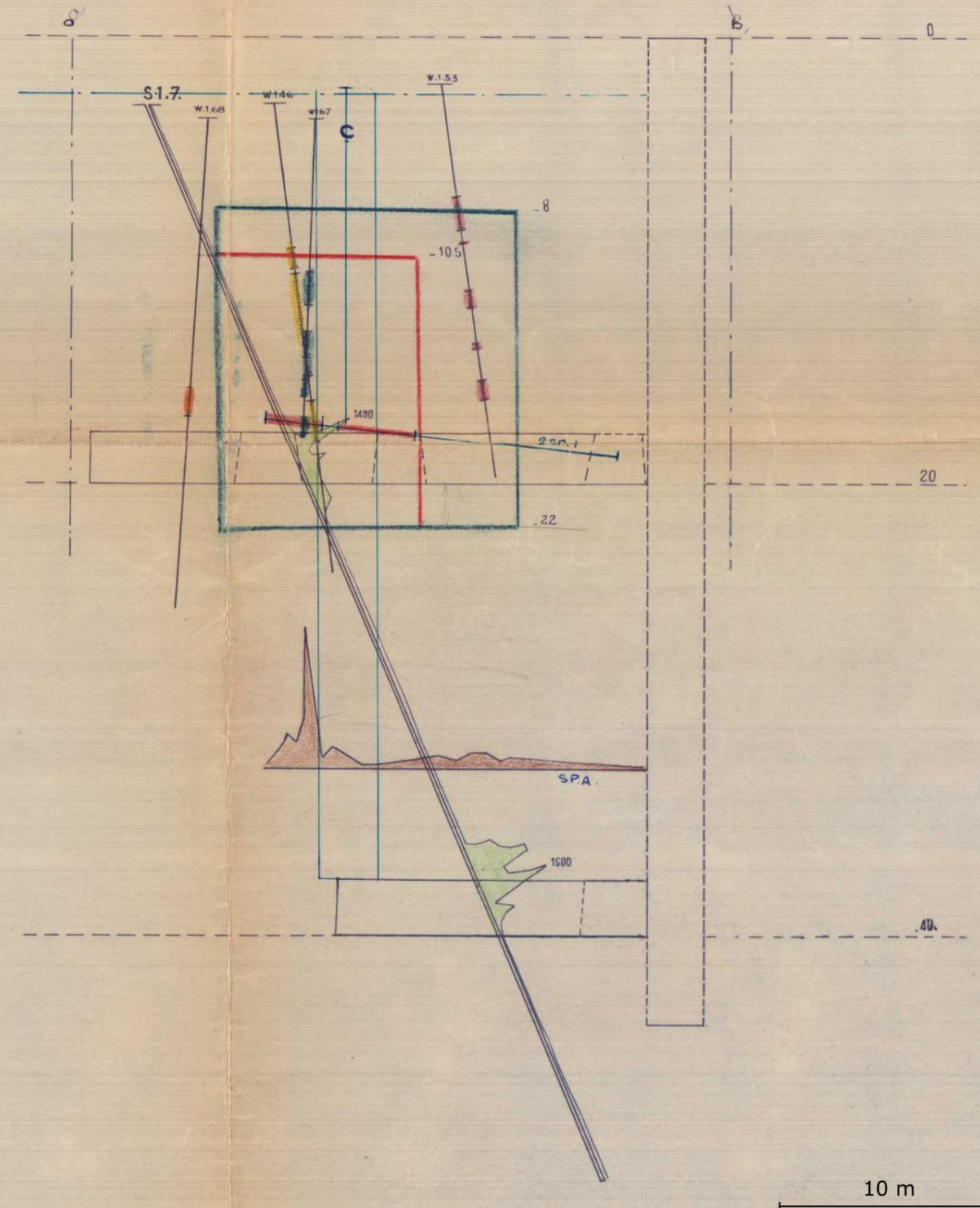
Document : BAR-DADT-travaux-miniers-coupes

# COUPES DES TRAVAUX ET DES SONDAGES RADIOMETRIQUES

Coupe suivant AB.



Coupe suivant C.D.



### **2.3.4 - Vides résiduels**

A partir des quelques plans et coupes des travaux miniers disponibles, la présence de vides résiduels est envisagée.

Un plan et deux coupes datés du 01/01/1961 localisent les parties minéralisées et les parties remblayées des travaux miniers. En revanche, la cheminée 2C2 et le puits, pourtant remblayés, ne sont pas hachurés. Les informations disponibles sont donc partielles.

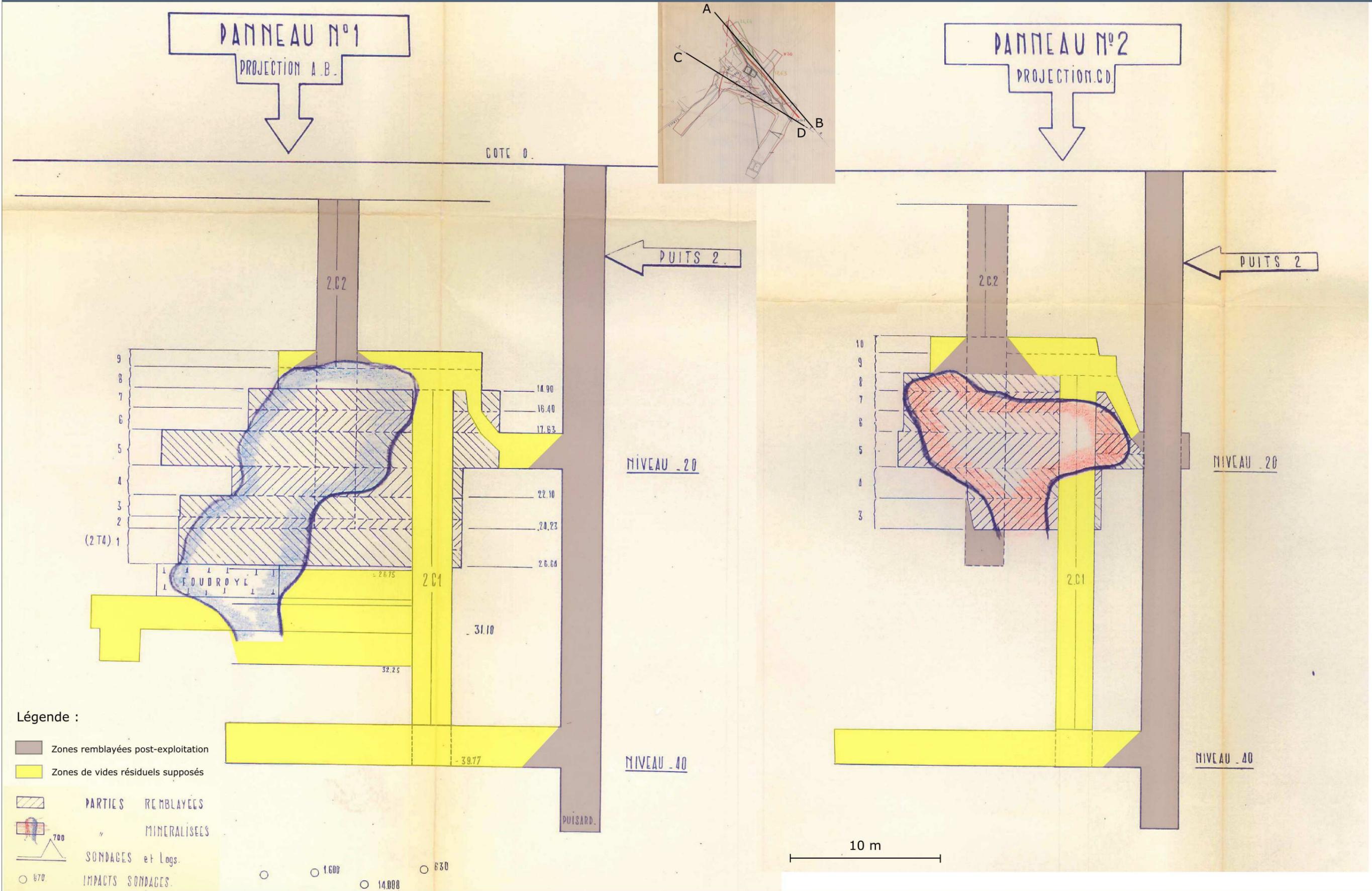
On peut donc supposer que les parties suivantes n'ont pas été remblayées :

- niveau -14,90 en partie ;
- galeries du niveau -20 : a) galerie du puits, b) galerie au nord-ouest, parallèle à celle du puits ;
- niveau intermédiaire -31,10 en partie ; il n'existe pas de plan de ce niveau ;
- niveau intermédiaire -32,25 en partie ; il n'existe pas de plan de ce niveau ;
- galerie du niveau -40 (-39,77) ;
- cheminée intermédiaire 2C1 reliant les niveaux -20 et -40.

Le puits et la cheminée 2C2 étant remblayés (confirmation du propriétaire privé du site), on peut considérer qu'une partie des remblais s'est écoulée dans les départs des galeries des niveaux -20 et -40, formant un cône de remblais. Ceci est plausible du fait que les remblais du puits et de la cheminée 2C2 continuent de se tasser à l'heure actuelle, notamment après de fortes pluies, laissant penser à une migration lente de remblais dans ces galeries.

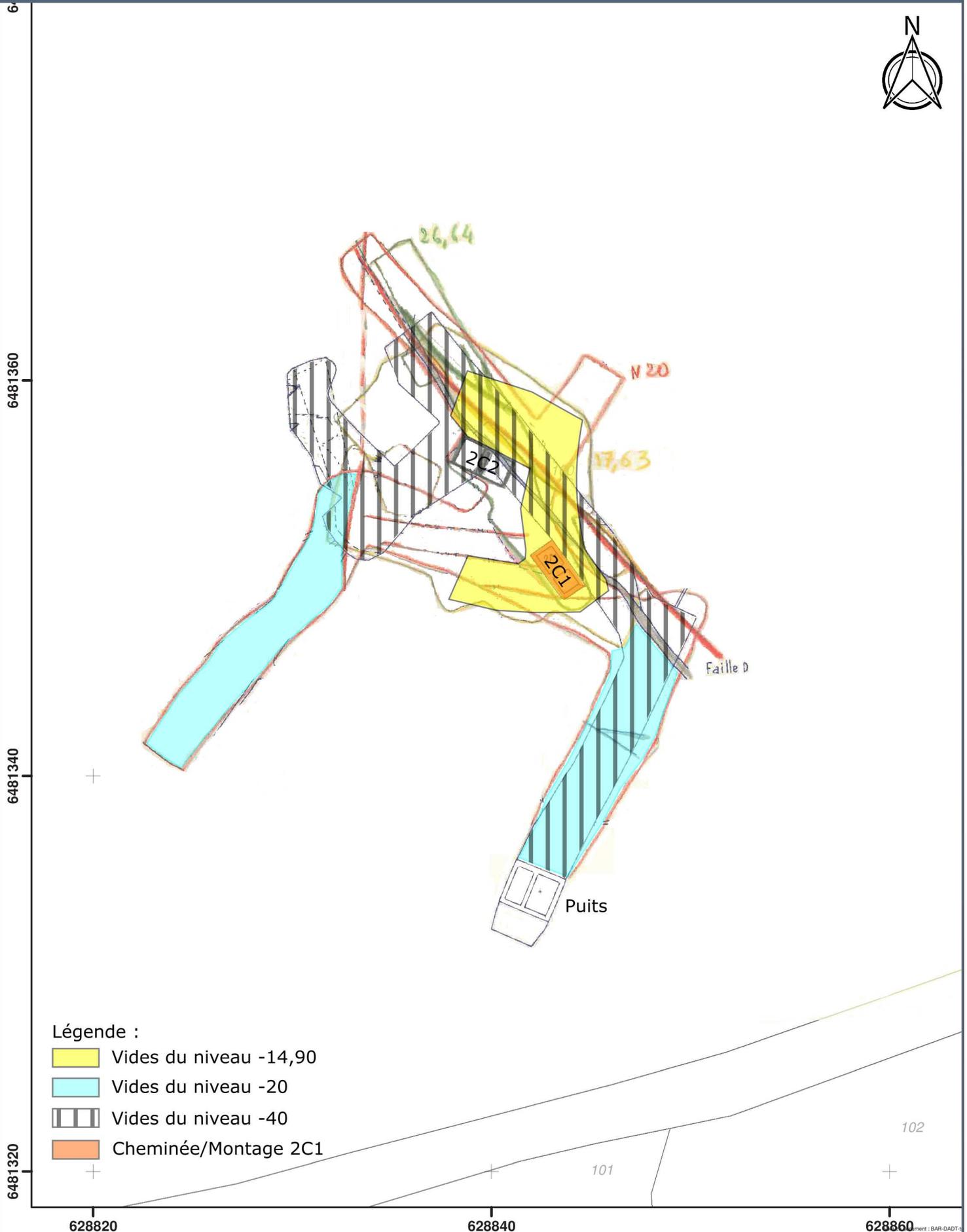
Ces vides résiduels supposés sont localisés sur le document ci-après. Les vides existant dans les niveaux -14,90, -31,10 et -32,25 ne sont pas cartés par manque d'information.

# COUPES DES TRAVAUX MINIERS ET VIDES RESIDUELS SUPPOSES



# P LAN DES TRAVAUX MINIERS SOUTERRAINS ET VIDES RESIDUELS SUPPOSES

Echelle - 1 : 250



Légende :

- Vides du niveau -14,90
- Vides du niveau -20
- Vides du niveau -40
- Cheminée/Montage 2C1

### 2.3.5 - Matériels

Les chantiers de recherche par petits chantiers souterrains comme ceux de la Barrière étaient équipés de manière rudimentaire. L'essentiel des travaux du fond s'effectuait manuellement : la foration était réalisée à l'aide de marteaux perforateurs à air comprimé et de fleurets à injection d'eau centrale, les tirs étaient exécutés avec plusieurs volées d'amorce à retard, le chargement du minerai se faisait à la base des montages dans des wagonnets poussés par les mineurs sur des voies ferrées de 0,60 m d'écartement jusqu'à la recette. Lors du traçage des galeries, le chargement était effectué partiellement par une chargeuse mécanique fonctionnant à l'air comprimé.

### 2.3.6 - Chemins d'accès au carreau minier

D'après le propriétaire des terrains, le premier chemin ayant été utilisé pour l'exploitation du site de la Barrière est le petit chemin situé à l'est du carreau minier et montant au hameau de la Barrière. Aucun marquage radiologique n'a été constaté sur ce chemin.

Dans un second temps, le chemin principal actuel fut aménagé à l'aide de matériaux empruntés à la verse à stériles qui a aujourd'hui disparue.

Les deux chemins d'accès (par l'est et par le nord) rentrent donc dans le périmètre de la déclaration d'arrêt définitif des travaux miniers.

## 2.4 - TRAITEMENT DU MINERAI

Les matériaux extraits étaient triés sur place : le minerai était acheminé vers l'usine SIMO (Société Industrielle des Minerais de l'Ouest) de traitement des minerais de Bessines-sur-Gartempe en Haute-Vienne, les stériles restants en dépôt sur place sous forme de verses ou de remblais dans les parties excavées. Il n'existe plus de trace de verse ou de remblai sur le site. L'ensemble a été utilisé pour remblayer le puits, le montage 2C2, faire le chemin et la plateforme.

## 2.5 - PRODUCTION

La production de minerai comptabilisée porte sur les travaux d'exploration de 1959 et les dépilages effectués en 1960 et début 1961.

	1959	1960	1961	TOTAL
Minerai net extrait (t)	316,4	1 414,9	203	1 934,3 t
Uranium contenu (kg)	995 (?)	6 058	727	6 775,4 kg
Teneur moyenne (‰)	?	3,49	3,50	3,50 ‰

La mine de la Barrière a produit 1 934,3 tonnes de minerai à une teneur moyenne de 3,5‰, ce qui représente 6 775,4 kg d'uranium.

### 3 - INSTALLATIONS MINIERES DE SURFACE

Pour rappel, les installations minières de surface sont les installations nécessaires à l'exploitation de la mine.

Aucun plan détaillé des installations de surface durant la période d'exploitation (1959-1961) n'a été retrouvé dans les archives.

Sur la photographie aérienne de juillet 1959, quatre structures sont distinguables : deux d'entre-elles correspondent vraisemblablement au chevalement et au local du treuil compte tenu de leur position au droit du puits. Les deux autres structures sont des bâtiments/hangars. Sur la photographie aérienne de 1969, ces bâtiments ne sont plus présents sur le site. Ils ont donc été démantelés à l'arrêt de l'exploitation ou peu de temps après. Aucune précision quant au devenir de ces installations n'est connue. En 1969, la verse à stériles est observable et la végétation envahit le site. Le site est resté en l'état jusqu'en 1974.



Figure 4 : Photographie aérienne du site du 27 juin 1950 avant travaux (source IGN)

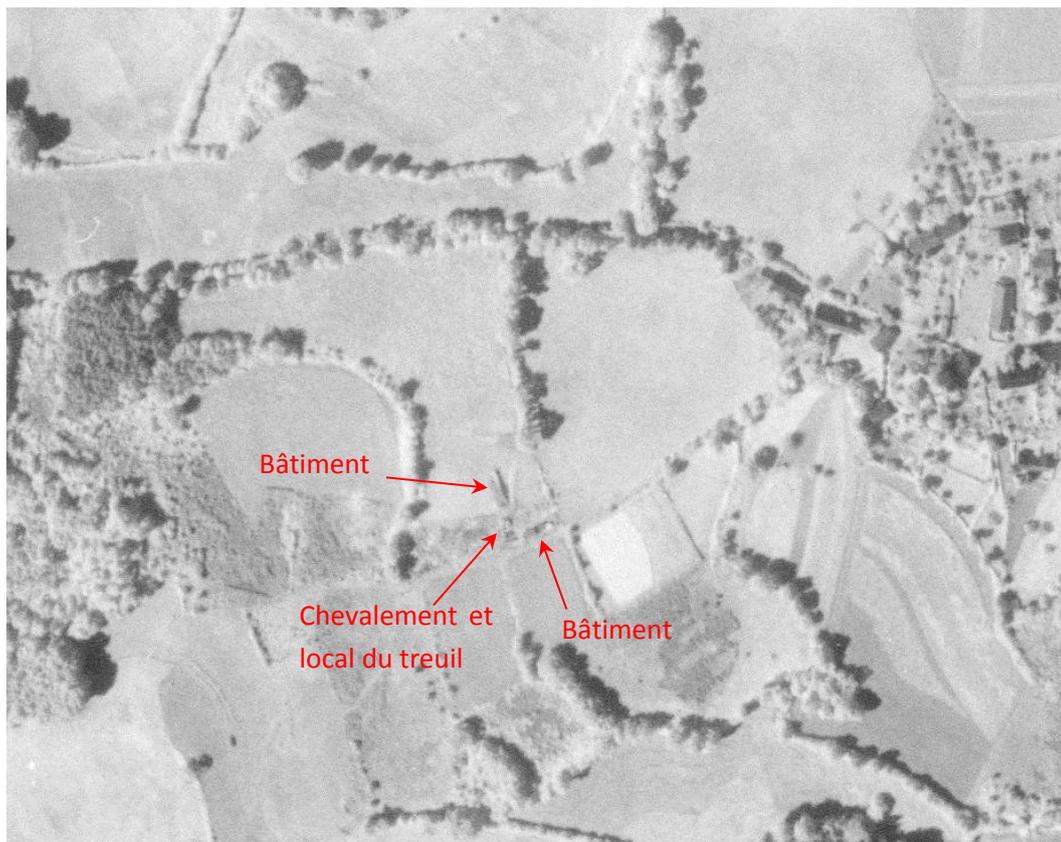


Figure 5 : Photographie aérienne du site du 3 juillet 1959 pendant travaux (source IGN)



Figure 6 : Photographie aérienne du site de 1969 après travaux et démantèlement des installations de surface (source IGN)



Figure 7 : Photographie aérienne du site du 7 septembre 1977 : aménagement du terrain (plateforme, chemin et bâtiment) par le propriétaire actuel (source IGN)



Figure 8 : Photographie aérienne actuelle du site (source IGN)

Ce n'est qu'en 1974 que l'actuel chemin d'accès au site a été remblayé à l'aide de matériaux extraits de la verse à stériles résiduelle présente à l'époque. Le reste des matériaux de cette verse a servi en intégralité à la réfection du chemin et au comblement du puits et du montage, ceux-ci présentant un tassement des remblais. Le carreau fut reprofilé à ce moment. Ceci est observable sur la photographie aérienne de septembre 1977.

La verse à stériles n'existe plus de nos jours.

D'après le propriétaire des terrains, le premier chemin ayant été utilisé pour l'exploitation du site de la Barrière est le petit chemin situé à l'est du carreau minier et montant au hameau de la Barrière. Aucun marquage radiologique n'a été constaté sur ce chemin.

Dans un second temps, le chemin principal actuel fut aménagé à l'aide de matériaux empruntés à la verse à stériles qui a aujourd'hui disparue. Les deux chemins d'accès (par l'est et par le nord) rentrent donc dans le périmètre de la déclaration d'arrêt définitif des travaux miniers.

C'est également en 1974 que les bâtiments présents actuellement sur le site ont été apportés par le propriétaire. Ces bâtiments ne sont donc pas concernés par la présente déclaration, mais représentent des enjeux à protéger.

### **3.1 - CHEVALEMENT ET TREUIL D'EXTRACTION**

Aucune information concernant le chevalement et le treuil d'extraction n'ont été retrouvées. Ces installations étaient très probablement du même type que celles présentes à la même période sur le site minier uranifère de la Vedrenne, distant de 6 km environ, dont voici une photographie de 1959 à titre d'information.



Figure 9 : Chevalement et local du treuil du site minier de la Vedrenne (1959), comparables à ceux autrefois présents sur le site de la Barrière

### **3.2 - AUTRES EQUIPEMENTS**

Aucune information n'ayant été retrouvée concernant les installations de surface, on peut supposer par analogie avec de petits sites miniers comparables, que plusieurs bâtiments provisoires ont vraisemblablement été installés :

- Deux bâtiments de type FILLOD préfabriqués en acier dont l'un abritait certainement les vestiaires et l'autre à usage de bureaux accolé à un plus grand bâtiment à usage vraisemblablement d'atelier ;
- Un hangar métallique pour matériel et véhicule ;
- Un poste de transformation électrique ;
- Trois bâtiments techniques métalliques légers construits à proximité du puits (recette, comptage radiométrique, stockage du minerai).

Tous ces bâtiments ont été démantelés après l'arrêt de l'exploitation en 1961 ou peu de temps après. Les installations visibles en 1959 ne sont plus visibles en 1969.

Aucune information n'a été retrouvée concernant l'existence d'une poudrière (dépôt d'explosifs).

## **4 - VERSES ET DEPOTS**

Selon la Directive relative aux déchets des industries extractives (DDIE), les zones de dépôts et de déchets d'extraction correspondent à l'ancienne verse à stériles résiduelle, constituée de produits stériles extraits lors du creusement du puits et des galeries.

Cette verse a aujourd'hui disparu : les matériaux de la verse ont été utilisés en 1974 pour le remblayage des fontis au niveau du puits et du montage, et pour la confection de l'actuel chemin d'accès, qui est différent de l'ancien chemin d'accès au carreau lors de l'exploitation, comme le confirment les photographies aériennes historiques.

En l'absence de traitement du minerai sur site, aucun résidu de traitement n'a été produit, déposé ou stocké sur le site. Aucune boue n'est stockée sur site.

## **5 - GESTION DES EAUX D'EXHAURE ET DE SURVERSE**

La gestion des eaux d'exhaure pendant la phase d'exploitation n'est pas connue. On peut juste supposer que les eaux minières étaient pompées et remontées en surface par le puits, puis rejetées dans le ruisseau de la Soudeillette situé à 550 mètres du site.

A l'heure actuelle, aucun exutoire des eaux souterraines n'a été identifié sur le site, en bordure ou à proximité de celui-ci.

## 6 - MESURES DEJA PRISES APRES L'ARRET DES TRAVAUX MINIERES

Les mesures déjà prises par la Compagnie Française de Mokta à l'arrêt des travaux miniers sur le site de la Barrière sont détaillées dans le tome 1 chapitre C et rappelées dans le présent chapitre.

Ces travaux ont consisté en la mise en sécurité du site, afin d'éliminer tout danger et assurer la sécurité publique.

Pour cela, les travaux suivants ont été réalisés :

- Obturation des ouvrages de liaisons fond-jour (ouvrages débouchant au jour = ODJ), à savoir le puits et le montage 2C2 ;
- Démantèlement des installations de surface.

Aucune mesure de surveillance particulière n'a été mise en œuvre à l'arrêt des travaux. Après réalisation des travaux de mise en sécurité, le site semble être resté en l'état jusqu'en 1974, où des travaux d'aménagement ont été réalisés par le propriétaire privé du terrain.

### **6.1 - MISE EN SECURITE DES DEPILAGES**

Compte tenu de la méthode d'exploitation employée sur le site (tranches montantes remblayées), les dépilages ont été remblayés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, comme le confirment les plans miniers disponibles. Le vide créé après évacuation du minerai était comblé par abattage des éponges stériles. Le niveau était rétabli par le foisonnement des produits abattus.

### **6.2 - OBTURATION DES OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR (ODJ)**

Les deux seuls ouvrages débouchant au jour sont le puits principal et le montage.

Le puits principal profond de 45,65 mètres et le montage reliant le niveau -20 à la surface ont été intégralement remblayés après l'arrêt des travaux en 1961-1962. A la suite du tassement des remblais, des apports de matériaux ont été effectués à plusieurs reprises par le propriétaire. A l'heure actuelle, l'emplacement de ces deux ouvrages est repérable sur le terrain par la présence de deux légers fontis au droit de ceux-ci.

Aucune information précise concernant le volume ou le type de matériaux ayant servi à leur comblement n'a été retrouvé. La verse à stériles résiduelle a vraisemblablement servi à leur comblement puis à l'apport occasionnel de matériaux.

Aucune galerie horizontale ou descendrière ne débouche au jour.

### **6.3 - DEMANTELEMENT DES INSTALLATIONS DE SURFACE**

Le treuil d'extraction et le chevalement ainsi que les autres bâtiments (hangar et les baraques Fillols abritant ateliers et bureaux) ont été démantelés après l'arrêt des travaux, comme le confirment les photographies aériennes historiques de l'IGN.

Le hangar et les baraques Fillols du site minier uranifère voisin de la Vedrenne, abritant autrefois ateliers et bureaux, ont été rapatriés en 1974 par le propriétaire actuel des terrains et sont actuellement utilisés pour entreposer du matériel et du bois (communication orale du propriétaire).

Ces bâtiments, n'ayant aucun lien avec l'exploitation du site de la Barrière, ne rentrent donc pas dans le cadre de la déclaration d'arrêt définitif des travaux miniers.

### **6.4 - MESURES CONCERNANT LE CARREAU MINIER**

Ne disposant pas de documents concernant les opérations de réaménagement du site, seules les photographies historiques peuvent apporter quelques éléments (voir chapitre « Installations minières de surface »).

Il est probable qu'une partie des stériles ait été utilisée pour remblayer le puits et la cheminée à l'arrêt des travaux en 1961.

Le site semble être resté en l'état jusqu'en 1974, date à partir de laquelle des travaux d'aménagement ont été réalisés par les propriétaires actuelles des terrains. La verse à stériles a servi au comblement des fontis et au remblaiement du chemin d'accès actuel. Le carreau a été entièrement remodelé à ce moment.

### **6.5 - MESURES CONCERNANT LA VERSE A STERILES**

Comme évoqué précédemment, la verse à stériles a servi au comblement des fontis au droit du puits et du montage, et au remblaiement du chemin d'accès actuel.

La verse à stériles a aujourd'hui entièrement disparu.

---

## **6.6 - SERVITUDES INSTITUEES**

---

Aucune servitude affectant l'utilisation du sol n'a été instituée sur le périmètre du site minier.

---

## **6.7 - MESURES CONCERNANT LES DECOUVERTES**

---

Sans objet, l'exploitation ayant été réalisée par travaux miniers souterrains.

---

## **6.8 - MESURES CONCERNANT LES TAS DE MINERAIS LIXIVIES**

---

Sans objet, le minerai ayant été expédié et traité à l'usine SIMO de Bessines-sur-Gartempe (Haute-Vienne).

---

## **6.9 - MESURES CONCERNANT LA GESTION DES EAUX**

---

Aucune mesure particulière ne semble avoir été prise concernant la gestion des eaux. Le carreau est relativement plat. Aucune venue d'eau ou exutoire n'est présent sur le site ou à proximité. Les eaux pluviales s'écoulent vers l'ouest/sud-ouest.

---

## **6.10 - PLANS COMPTEURS**

---

Un plan compteur a été réalisé par AREVA le 25 juin 2013 au niveau de l'ancien carreau minier et du chemin d'accès.

Des zones radiologiquement marquées sont ressorties au niveau :

- Du chemin d'accès principal, avec des valeurs comprises entre 200 et 1 800 c/s (SPPgamma). La majeure partie de ce chemin présente des valeurs supérieures à 900 c/s ;
- De la plateforme (ancien carreau minier) : la plateforme présente des valeurs comprises entre 200 et 1 500 c/s. La partie centrale de la plateforme, située au droit des travaux miniers, présente les valeurs les plus élevées, comprises entre 650 et 1 500 c/s.

Au niveau de l'ancien chemin d'accès partant du carreau et remontant vers le village à l'est, les valeurs mesurées sont comprises entre 130 et 200 c/s (SPP2).

Le plan compteur du site et du chemin d'accès est donné ci-après.

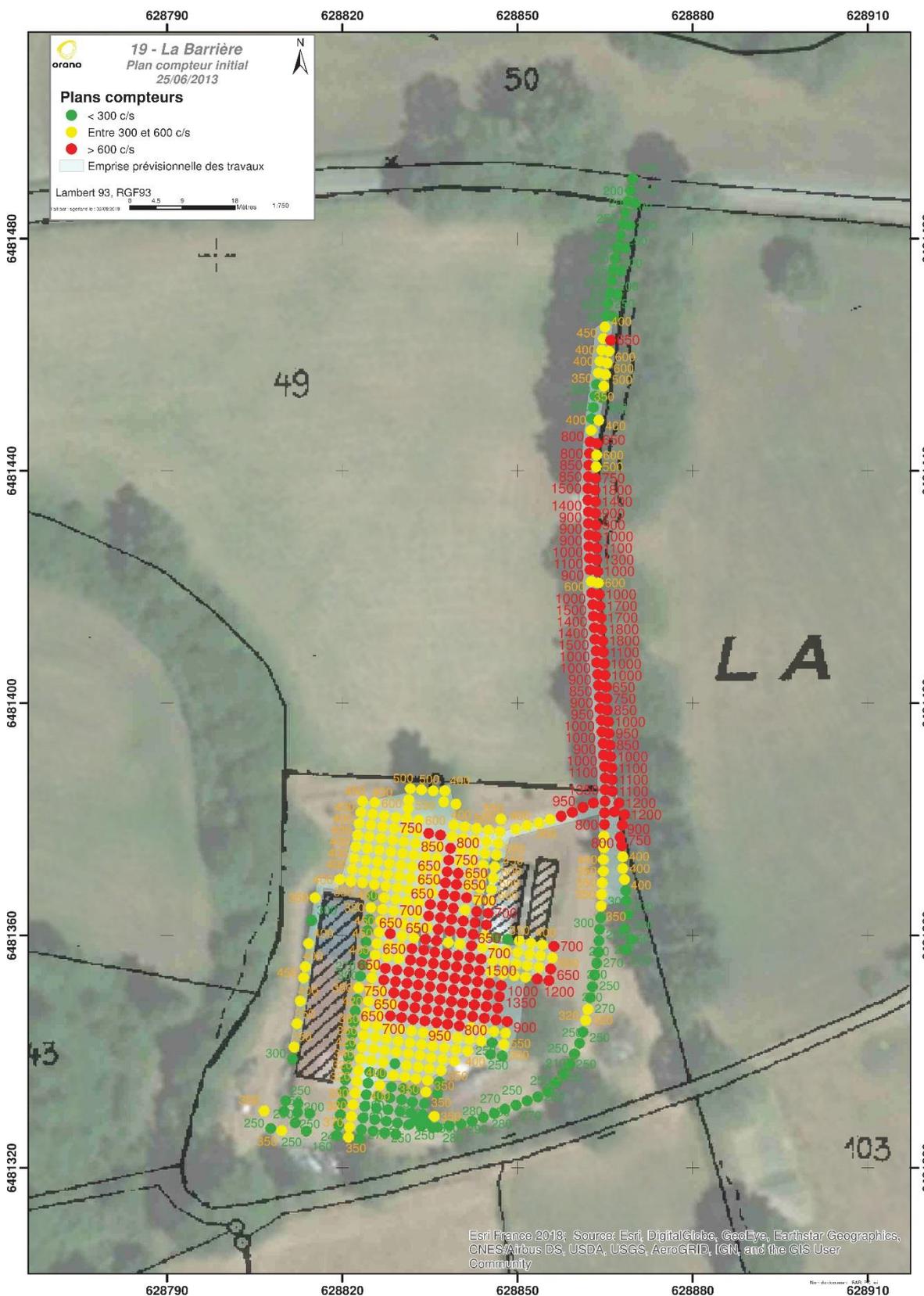


Figure 10 : Plan compteur du site de la Barrière du 25/06/2013

### **6.11 - SURVEILLANCE AU TITRE DE L'ARTICLE L174-1 DU CODE MINIER**

Cette surveillance concerne les risques importants d'affaissement de terrain ou d'accumulation de gaz dangereux, susceptibles de mettre en cause la sécurité des biens ou des personnes.

Aucune demande de surveillance ou de prévention n'a été faite par l'Administration concernant les risques d'affaissement ou d'accumulation de gaz (suivi de la qualité de l'air).

### **6.12 - SURVEILLANCE AU TITRE DE L'ARTICLE L174-2 DU CODE MINIER**

Sans objet, aucune installation hydraulique servant à assurer la sécurité et susceptible d'être transférée n'existant sur le site de la Barrière.

## **7 - MOUVEMENTS DE TERRAINS CONTEMPORAINS DES TRAVAUX MINIERES**

D'après les archives disponibles, aucun désordre n'a été répertorié ou enregistré du temps de l'exploitation du site de la Barrière.

Toutefois, d'après les archives, « la tenue des terrains très médiocre nécessitait un soutènement par cadres en bois très dense ».

## 8 - MOUVEMENTS DE TERRAINS POSTERIEURS A L'ARRET DES TRAVAUX MINIERES

Aucun désordre majeur n'est survenu depuis l'arrêt des travaux miniers en 1961.

Toutefois, des tassements des remblais du puits et du montage 2C2 sont survenus à plusieurs reprises. Ces tassements ont été à chaque fois comblés par le propriétaire de la parcelle, par apports successifs de matériaux empruntés sur le site.

Ces tassements des remblais ont été constatés lors d'une visite de 2008, et furent à nouveau constatés lors de l'état des lieux réalisé en mai 2018.

### ***8.1 - VISITE DU 09/06/2008***

Extrait de la fiche de chantier suite à la visite AREVA du 09/06/2008 :

*« L'emplacement du montage, situé à proximité immédiate des anciens ateliers est visible du fait d'un léger tassement de la zone avec un petit effondrement signalé par un piquet par le propriétaire actuel du terrain.*

*L'emplacement du puits n'est plus visible, celui-ci est localisé au niveau du talus bordant l'ancien carreau».*

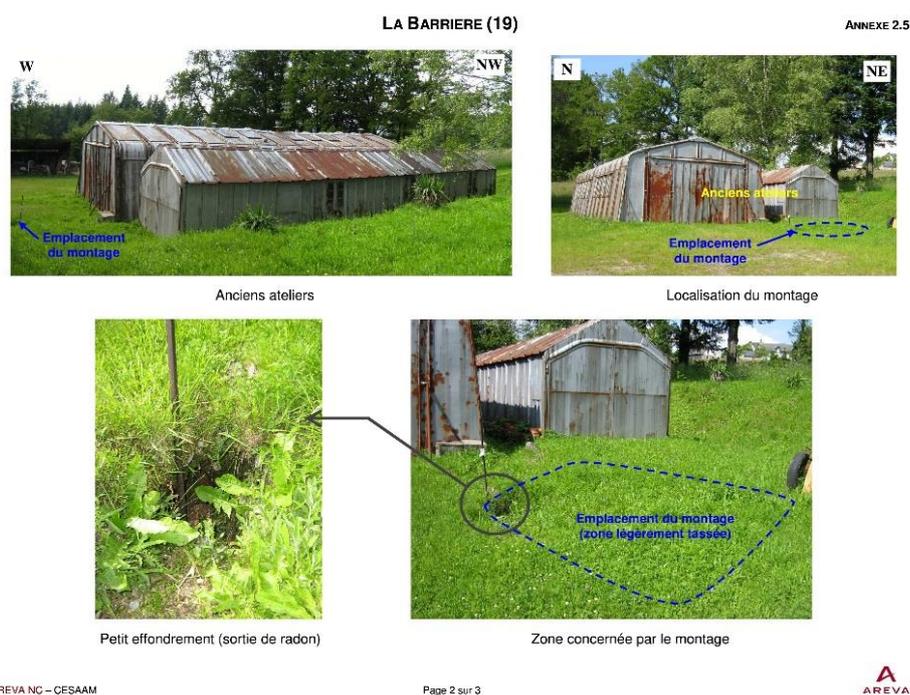


Figure 11 : Extrait de la fiche de chantier établie par AREVA en 2008 concernant le montage  
**LA BARRIERE (19)** ANNEXE 2.5

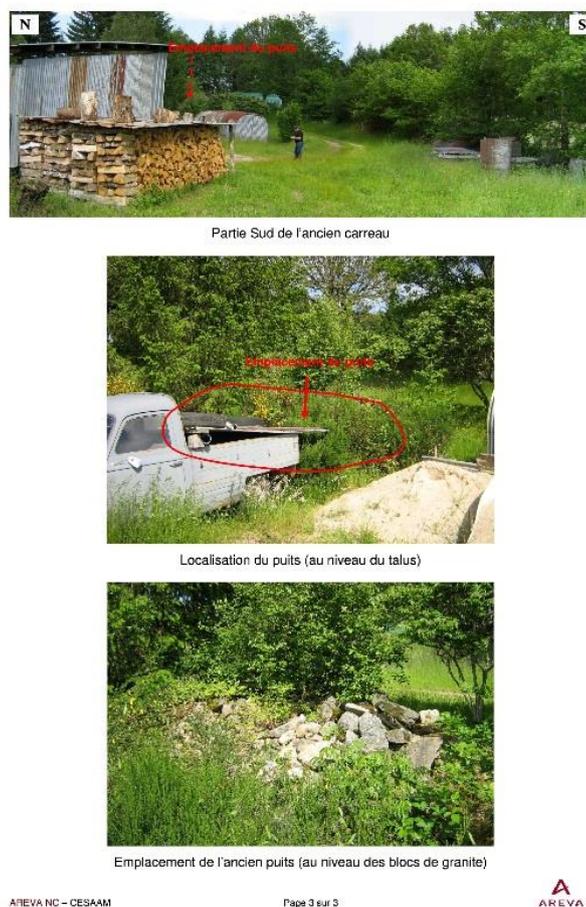


Figure 12 : Extrait de la fiche de chantier établie par AREVA en 2008 concernant le puits

---

## **8.2 - VISITE DU 28/05/2018**

---

*Planche photographique de la visite du 28/05/2018*

*Document n°18.118 / T3-10*

*Dans le texte*

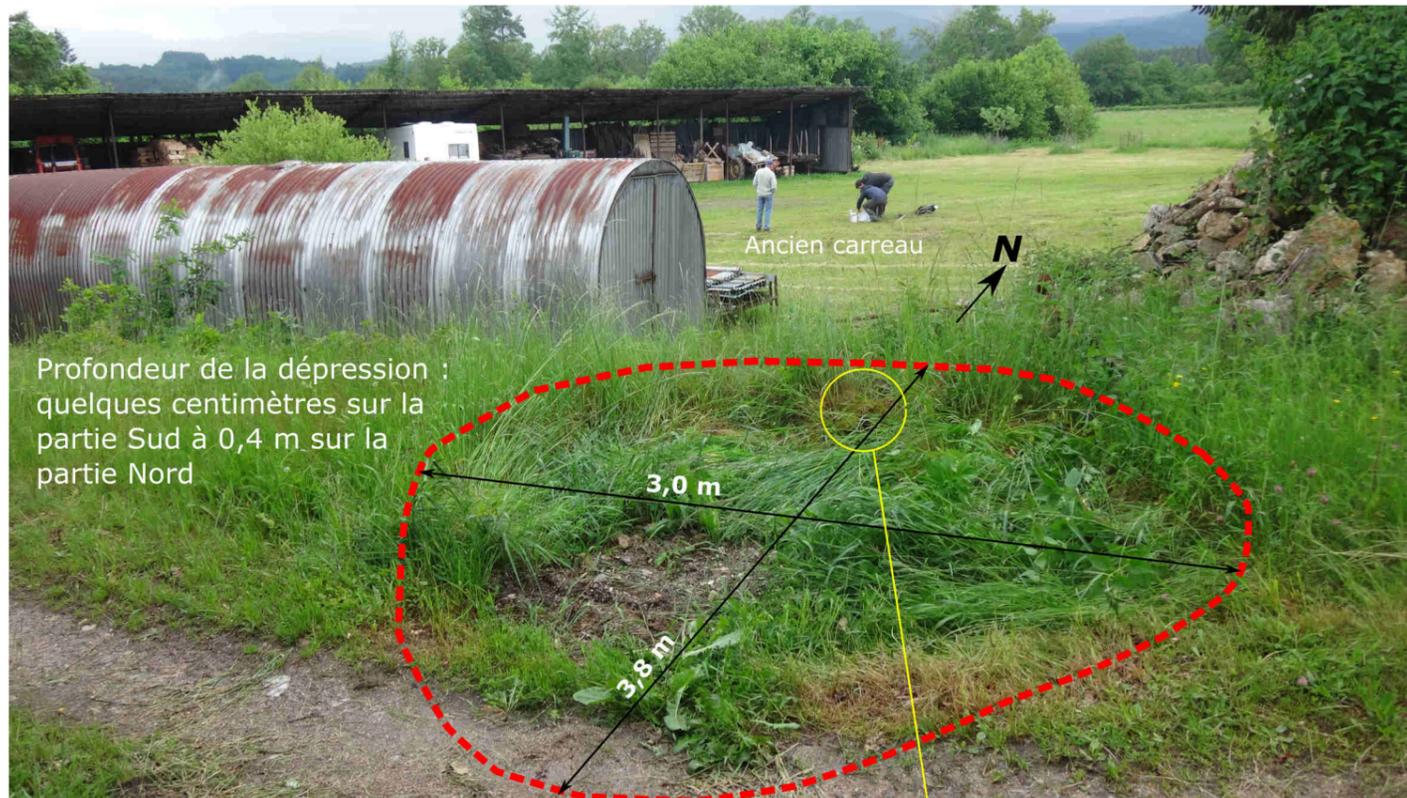
Un état des lieux détaillé de terrain a été réalisé le 28/05/2018 par MICA Environnement. Les propriétaires du site étaient présents.

Le petit fontis proche des bâtiments observé en 2008 au droit de l'ancien montage 2C2 est toujours présent. Il est situé 2 m au sud des deux bâtiments et mesure environ 2 x 2,5 x 0,2 m.

Une dépression a été observée au droit de l'ancien puits, au sud sur le talus bordant la piste. Elle correspond au tassement des remblais du puits. Ce fontis mesure 3 m x 3 m pour 0,30 m de profondeur.

D'après le propriétaire, ces deux dépressions ont toujours existé depuis la fin de l'activité minière. Il procède à des apports occasionnels de matériaux afin de les combler. Ces tassements interviennent généralement après de fortes pluies.

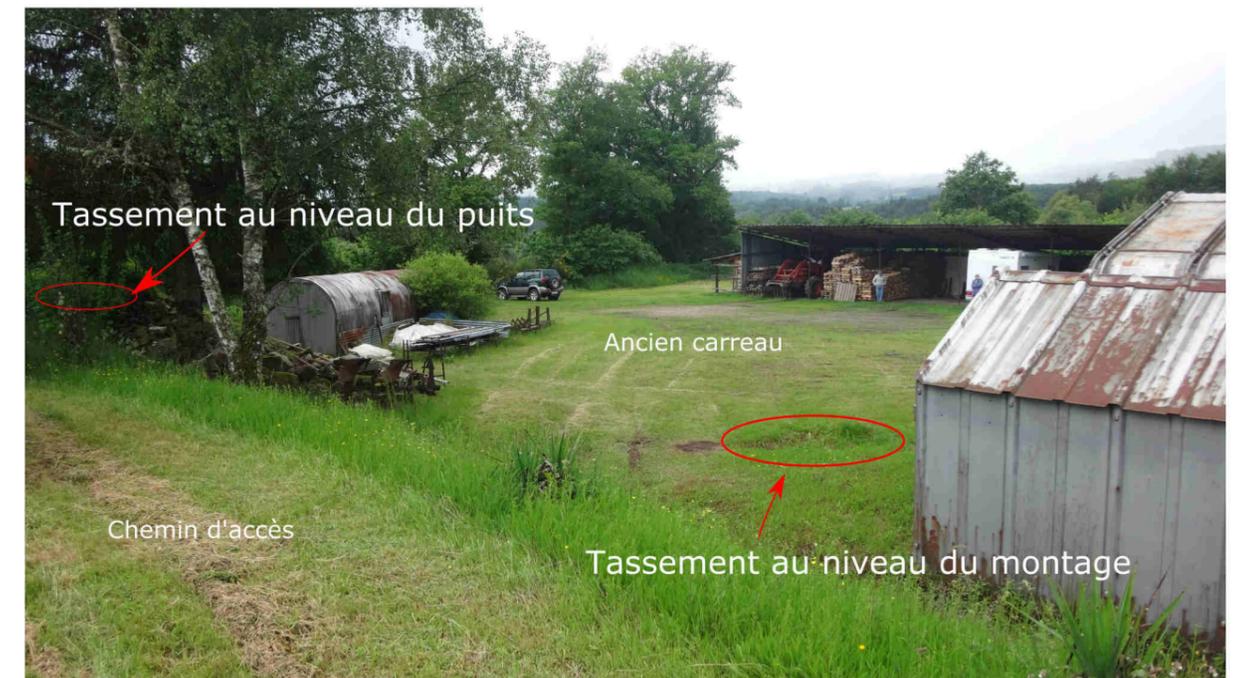
# PLANCHE PHOTOGRAPHIQUE DES INSTABILITES DE SURFACE EN MAI 2018



*Zone de tassement des remblais au droit de l'ancien puits, sur le talus bordant le chemin*



*Zone de tassement des remblais au droit de l'ancien montage*



*Vue d'ensemble*

## 9 - PRINCIPE DE L'ANALYSE DES RISQUES

### 9.1 - DEFINITION ET METHODE D'EVALUATION DES ALEAS

#### 9.1.1 - Définition

L'aléa représente un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée. Il qualifie la probabilité d'atteinte des enjeux du site par le phénomène naturel envisagé dans une optique d'analyse à long terme (échelle centennale).

L'exploitation minière du site de la Barrière a été conduite par tranches montantes remblayées. Des quantités relativement modérées de minerai ont été extraites. Ces excavations souterraines, ont modifié de manière limitée mais irréversible les massifs rocheux où se trouvait le minerai.

Parallèlement, l'exploitation s'est accompagnée de l'édification d'ouvrage de dépôts de matériaux susceptibles d'évoluer dans le temps, tels que l'ancienne verse à stériles aujourd'hui disparue.

L'évaluation des aléas a pour but d'identifier les zones susceptibles de mettre en péril, à terme, les personnes et les biens exposés, et dans le cas d'un risque modéré à majeur, de préconiser des travaux pour réduire/supprimer ces risques.

#### 9.1.2 - Méthode d'évaluation

L'analyse détaillée des aléas et des risques réalisée dans le cadre de ce rapport est basée sur la **méthodologie définie par INERIS dans son guide de 2018 « Evaluation des aléas miniers » s'appuyant sur son rapport INERIS DRS-07-79371-17209A de 2006**. La méthode d'évaluation décrite dans le rapport est reprise ci-dessous.

#### 9.1.3 - Types d'aléas

L'aléa est défini comme étant la probabilité qu'un phénomène dangereux produise, en un lieu donné, des effets d'une intensité physique définie.

L'étude des aléas suivants est préconisée pour chaque site minier :

- **Aléa Inondation** : cet aléa regroupe les phénomènes suivants :
  - Modification du régime des émergences,
  - Apparition de zones détrempées ou de marécages,
  - Inondation des sous-sols et points bas,
  - Modification du régime des cours d'eau,
  - Inondations brutales.

- **Aléa Mouvements de terrain** : cet aléa regroupe les phénomènes suivants :
  - Aléa effondrement généralisé,
  - Aléa effondrement localisé,
  - Aléa affaissement progressif,
  - Aléa crevasse,
  - Aléa tassement,
  - Aléa soulèvement,
  - Aléa glissement de pente,
  - Aléa coulée,
  - Aléa chute de blocs, effondrement rocheux.
  
- **Aléa Emission de Gaz de mine en surface / Rayonnements ionisants.**

D'autres types de phénomènes peuvent toutefois être pris en compte en fonction du contexte local, comme par exemple les rayonnements ionisants en contexte de radioactivité.

#### **9.1.4 - Qualification de l'intensité**

L'intensité de chaque aléa peut être hiérarchisée en plusieurs niveaux à partir de critères tels que l'importance des dégâts prévisibles pour un phénomène donné en se basant sur les observations de terrain et l'analyse de la base de données.

De manière à hiérarchiser les dégâts ou nuisances potentielles en cas de survenance du désordre, il est classique de définir l'intensité en trois classes (limitée, modérée et élevée), dont le contenu sera défini en fonction de la nature des mécanismes et phénomènes attendus sur le site.

#### **9.1.5 - Qualification de la prédisposition**

A chaque aléa doit être également rattaché une « probabilité d'occurrence », dont l'évaluation s'avère souvent difficile (cas par exemple des mouvements de terrains qui sont des phénomènes non périodiques).

La notion de probabilité d'occurrence est appréhendée par le concept de « prédisposition du site » vis-à-vis d'un type donné d'instabilité. Des critères, si possible paramétriques, témoignant de la « sensibilité » ou de « l'activité » du phénomène redouté sont donc établis en fonction de la configuration étudiée. L'analyse de la fréquence des événements passés (« retour d'expérience ») fait, naturellement, partie intégrante de la démarche.

Par ailleurs, il n'est pas rare de ne pas connaître avec certitude l'existence ou la localisation de vides miniers et de ne pas disposer des données nécessaires à la détermination de l'extension précise des désordres ou nuisances possibles. Le manque d'informations disponibles est alors géré par la notion de « présomption » en distinguant les zones où le phénomène redouté est seulement suspecté des zones pour lesquelles l'aléa est avéré.

La démarche doit être mise en œuvre pour chaque type de phénomène qui se voit attribuer une sensibilité spécifique. Il est d'usage de définir trois classes de prédisposition (peu sensible, sensible et très sensible) dont le contenu sera défini en fonction de la nature des mécanismes et phénomènes attendus sur le site.

### 9.1.6 - Qualification de l'aléa

La hiérarchisation de l'aléa résulte du croisement d'une intensité avec la prédisposition correspondante. Le principe de qualification de l'aléa consiste donc à combiner les critères permettant de caractériser l'intensité d'un phénomène redouté avec les critères permettant de caractériser sa classe de prédisposition.

On utilise, à cette fin, une matrice de synthèse dont les principes de constitution sont illustrés dans le tableau suivant, en précisant que chaque site peut donner lieu à des ajustements pour s'adapter à un contexte spécifique. Classiquement on se limite à trois classes d'aléas : faible, moyen et fort.

intensité	Prédisposition		
	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Faible	Faible	Moyen
Modérée	Faible	Moyen	Fort
Elevée	Moyen	Fort	Fort

Figure 13 : Tableau de définition du niveau d'aléa

### 9.1.7 - Qualification de la vulnérabilité

La vulnérabilité (ou dommages potentiels) du site d'étude exprime le niveau de conséquences prévisibles sur les vies humaines, les infrastructures et les activités dans l'hypothèse de la survenance d'un aléa.

Le classement du niveau de vulnérabilité potentielle retenu est le suivant :

Niveau de vulnérabilité	Description
<b>Très vulnérable</b>	- Probabilité de pertes de vies humaines, zone à forte densité de circulation ou d'habitations, constructions industrielles, infrastructures... ; - Ruine totale de l'infrastructure.
<b>Vulnérable</b>	- Zones périphériques des agglomérations où il y a peu de constructions, mais où la fréquentation peut rester assez importante du fait de la facilité d'accès et de la proximité du milieu urbain ; - Probabilité d'accident avec blessés, dommage à l'infrastructure causant un impact économique fort (coût de réparation > 50% de l'infrastructure initiale)
<b>Peu vulnérable</b>	- Zones à l'écart des agglomérations où il y a quelques constructions, mais où la fréquentation reste limitée du fait de la faible densité d'habitations et de circulation ; - Dommages à l'infrastructure causant un faible impact économique (coût de réparation < 50% de l'ouvrage initial)
<b>Non vulnérable</b>	- Zone rurale constituée de prairies, de landes ou de bois sans habitations ni infrastructures, patrimoines ou équipements particuliers ; - Dommages à l'infrastructure entrant dans le coût d'entretien de l'ouvrage.

Figure 14 : Tableau de définition du niveau de vulnérabilité

### 9.1.8 - Qualification du risque

Le risque relatif au phénomène considéré est la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité.

Le niveau de risque est limité dans cette étude à trois classes : faible, moyen et fort.

Niveau de risque		Vulnérabilité			
		Non vulnérable	Peu vulnérable	Vulnérable	Très vulnérable
Aléa	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible
	Moyen	Nul	Faible	Moyen	Moyen
	Fort	Nul	Faible	Moyen	Fort

Figure 15 : Tableau de définition du niveau de risque

Si cette analyse conclut à un risque faible, moyen et fort, il convient d'entreprendre des travaux et/ou d'appliquer des mesures compensatoires :

- Des travaux de mise en sécurité pour que ce risque devienne très faible ou nul,
- S'il n'est pas techniquement et/ou économiquement possible de réduire le risque à un niveau très faible ou nul, des mesures de surveillance doivent être mises en œuvre.

## 10 - DESCRIPTION DES PHENOMENES POUVANT PORTER ATTEINTE AUX ENJEUX VULNERABLES

La fermeture des anciennes exploitations minières n'induit pas automatiquement la disparition définitive des risques et des nuisances qui en résultent (sols, eaux, air...). Même après exploitation, ces anciens sites peuvent en effet engendrer des désordres ou nuisances susceptibles de porter atteinte à la sécurité des personnes et des biens situés dans l'emprise des travaux miniers ou de perturber l'utilisation possible des terrains concernés.

Les impacts induits par une ancienne exploitation minière peuvent être de plusieurs ordres : perturbations hydrologiques potentiellement néfastes pour l'occupation du sol ou du sous-sol, instabilités de terrains de surface pouvant mettre en péril la sécurité des personnes ou induire des dommages sur les habitations ou les infrastructures, émissions de gaz potentiellement dangereux (radon)...

Dans ce qui suit, les différents phénomènes sont passés en revue.

### 10.1 - MOUVEMENTS DE TERRAIN

#### 10.1.1 - Effondrement généralisé

L'effondrement généralisé est un phénomène caractérisé par la rupture brutale des terrains au-dessus d'un vide minier. Il se différencie de l'effondrement localisé de par sa très grande surface (pouvant atteindre plusieurs hectares).

Ce phénomène peut se produire dans les exploitations où persistent des vides résiduels importants après les travaux (principalement pour la méthode des chambres et piliers). Le mécanisme initiateur est la rupture simultanée des piliers et des terrains de recouvrement, dans un temps très court. Les conséquences en surface peuvent être désastreuses puisque l'éboulement des terrains peut se produire sur plusieurs mètres de profondeur (dépendant du volume des vides souterrains).

Compte tenu de la méthode d'exploitation utilisée sur le site de la Barrière (tranches montantes auto-remblayées), **cet aléa n'est pas retenu.**

#### 10.1.2 - Effondrement localisé

L'effondrement localisé correspond à un éboulement des parois d'un vide minier dont l'emprise ne se propage pas à l'ensemble de la couche exploitée. Ce phénomène se manifeste par une cloche d'effondrement ou fontis qui remonte jusqu'à la surface. Il peut s'agir d'une rupture au toit d'une galerie ou d'une chambre vide, de l'écroulement d'un pilier isolé ou de l'effondrement d'une tête de puits (débouillage) ou d'une entrée de galerie.

Ce phénomène se produit dans les exploitations à faible profondeur (moins de 50 m). Les conséquences en surface peuvent être importantes de par la formation d'un cratère de diamètre allant de quelques mètres à une dizaine de mètres. La profondeur des effondrements n'excède pas les quelques mètres en général.

Compte tenu de la présence de galeries résiduelles à une profondeur inférieure à 40 m, et de la mauvaise tenue des terrains du temps de l'exploitation nécessitait un soutènement par cadres en bois très dense, **l'aléa est retenu.**

### **10.1.3 - Affaissement**

Le phénomène d'affaissement est caractérisé en surface par la formation d'une cuvette évasée débordant de l'emprise des travaux. L'effondrement des cavités souterraines lorsqu'elles sont situées à moyenne ou grande profondeur se répercute par des déformations souples et progressives des terrains de couverture, sans rupture cassante. C'est principalement la stabilité des stots, dalles ou piliers laissés en place pour assurer la tenue des épontes qui gouverne la prédisposition d'une exploitation filonienne à subir des affaissements en surface.

Les mouvements en surface sont généralement décimétriques à métriques mais peuvent atteindre une dizaine de mètres lorsque le volume des vides souterrains est très important.

Compte tenu de la méthode d'exploitation (galeries localisées et défilage d'un filon par tranches montantes remblayées), **cet aléa n'est pas retenu.**

### **10.1.4 - Crevasses**

Les crevasses sont des discontinuités marquées d'ouverture pluri-centimétrique à pluri-décimétrique, d'extension pouvant aller de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres, et de profondeur variable pouvant atteindre plusieurs mètres.

Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine de leur formation : affaissements, affaissements cassants et effondrements généralisés. L'apparition et la découverte en surface de ces crevasses peut se produire de nombreuses années voire plusieurs dizaines d'années après leur formation.

La méthode d'exploitation par foudroyage a une influence aggravante sur la prédisposition des crevasses par rapport à une exploitation par chambres et piliers. Ces phénomènes sont généralement rencontrés dans les bassins houillers et ferrifères lorrains.

La prédisposition au phénomène de crevasse est de prime abord lié à la présence en profondeur de quartiers d'exploitation effondrés ayant conduit à un affaissement du recouvrement, au caractère rigide et cassant des roches qui constituent ce dernier, et à la présence de terrains superficiels meubles conduisant à différer l'apparition en surface. La prédisposition est également assujettie à la hauteur et la densité des travaux d'exploitation.

Compte tenu de la méthode d'exploitation employée sur le site de la Barrière, **cet aléa n'est pas retenu.**

#### ***10.1.5 - Tassement***

Réarrangement des terrains au droit d'anciennes zones minières effondrées, mal dépilées ou mal remblayées :

Le phénomène de tassement peut être un affaissement de faible ampleur dont les travaux souterrains en sont à l'origine. Il s'agit de la recompaction des terrains foudroyés sous l'action de leur propre poids ou de perturbations extérieures (surcharge, variation de nappe d'eau...). Les mouvements de terrains sont alors de l'ordre du décimètre. Les terrains au droit de travaux souterrains exploités à l'aide d'une méthode induisant le foudroyage du toit (exploitation par taille ou par piliers dépilés) peuvent être sujets au développement de tassements. Les manifestations les plus perceptibles se développent à l'aplomb des secteurs peu profonds (quelques dizaines de mètres sous la surface).

Sur le site de la Barrière, l'exploitation a été menée par tranches montantes remblayées. Le vide créé après évacuation du minerai était comblé par abattage des épontes stériles. Le niveau était rétabli par le foisonnement des produits abattus. Ces matériaux n'étaient vraisemblablement pas compactés lors de leur mise en œuvre. Un tassement de ceux-ci est donc envisageable. **L'aléa tassement est retenu compte tenu de la méthode d'exploitation employée.**

Tassement par compaction/ consolidation de matériaux meubles :

Ces mécanismes concernent les ouvrages de dépôts, ainsi que les sites de découvertes et autres ouvrages miniers remblayés. Les stériles d'exploitation, mis en dépôt par voie sèche sous forme de verses ou utilisés à des fins de remblayage d'anciennes découvertes, peuvent présenter une composition assez hétérogène, tant en termes de nature des matériaux que de granulométrie. Leur mise en place, souvent assurée par simple déversement, ne garantit pas une compaction complète des déblais. Il en va de même pour les puits ou galeries d'accès remblayés. Les matériaux déversés dans ces ouvrages peuvent se consolider et subir une compaction parfois importante, susceptible d'engendrer la formation d'une dépression en surface.

Le montage et le puits ont été remblayés à l'arrêt de l'exploitation avec des matériaux empruntés dans la verse résiduelle. Des tassements de ces remblais se sont produits à plusieurs reprises après de fortes pluies. Le puits et le montage ont été remblayés à chaque fois par l'actuel propriétaire (communication orale du propriétaire). Ces tassements sont encore visibles à l'heure actuelle. **L'aléa tassement est retenu pour le puits et le montage 2C2.**

En l'absence de verse à stériles sur le site, **cet aléa n'est pas retenu.**

### Retrait-gonflement des argiles :

Un autre type de tassement, affectant les ouvrages de surface mais indépendant des travaux miniers, peut être causé par les cycles de retrait / gonflement des argiles. Ce phénomène se caractérise par un gonflement du volume des argiles avec l'augmentation de la teneur en eau et une diminution de leur volume dans le cas contraire sous les effets des battements de nappe ou des modifications climatiques (pluie et sécheresse). Ce type de tassement est limité aux sols argileux à faible profondeur (moins de 3 m en général). L'altération du granite est sableuse.

Du fait de la nature granitique des terrains, **cet aléa n'est pas retenu.**

### **10.1.6 - Soulèvement**

Le phénomène de soulèvement des terrains de l'ordre du décimètre peut également se produire lorsque des exploitations profondes ont été menées. L'arrêt des pompes d'exhaure maintenant les chantiers hors d'eau laisse remonter la nappe et peut engendrer des soulèvements de terrain. Compte tenu de la faible profondeur des travaux, du remblaiement en grande partie de ceux-ci, et du fait que la nappe soit remontée dans ces travaux il y a plus de 50 ans et que celle-ci est depuis stabilisée, **cet aléa n'est pas retenu.**

### **10.1.7 - Glissement**

Les phénomènes de glissement de terrain regroupent les glissements profonds, les glissements superficiels, les ravinements et les figures d'érosion superficielle. Les phénomènes de glissement de terrain peuvent se produire dans les pentes des ouvrages miniers de surface. Suivant le volume de matériaux concerné, il s'agit de glissements superficiels de quelques dizaines de m<sup>3</sup> (ravinements, glissements pelliculaires) ou des glissements profonds (sur toute la hauteur du dépôt).

Les causes potentielles des glissements de terrain sont multiples : une mauvaise gestion des eaux de surface ou souterraines, une topographie des talus inadaptée par rapport à la résistance des matériaux (pentes trop raides), terrassement en pied des talus, présence de matériaux argileux...

Les glissements superficiels répandent les matériaux en pied de talus. Le plus souvent les conséquences sont mineures mais les matériaux peuvent parfois entraver la circulation des eaux de pluie ou des cours d'eau en aval. Les écoulements d'eau anarchiques résultant de ces entraves peuvent raviner les talus et conduire à des instabilités de pente plus profondes ou endommager les infrastructures présentes au pied des ouvrages.

Les conséquences des glissements profonds sont la création de bourrelets de matériaux en pied de talus sous forme d'éboulement ou de coulées de boue si les matériaux sont gorgés d'eau. Le risque de ruine des constructions présentes à proximité des dépôts de surface peut être élevé.

Les ravinements sont causés par une mauvaise gestion des eaux de surface et endommagent les talus de manière superficielle. Ils peuvent entraîner des colmatages d'ouvrages en aval des talus.

Les talus présents sur le site, bordant le chemin d'accès, n'excèdent pas 2 m de hauteur et les pentes sur et autour du site de la Barrière sont peu marquées. En l'absence de verse à stériles sur le site, et du fait que les travaux miniers aient été exclusivement souterrains, **cet aléa n'est pas retenu.**

#### **10.1.8 - Coulées**

Les coulées dynamiques se situent à mi-chemin entre les phénomènes de transport de matériaux par l'eau et les phénomènes de rupture de terrain. Elles sont liées à l'existence d'anciens ouvrages de dépôts. Les coulées affectent principalement les bassins de rétention de matériaux fins mais peuvent, exceptionnellement, se développer le long de certains terrils, voire de flancs de découvertures creusés en massif de roche tendre.

Outre les conséquences environnementales potentiellement catastrophiques, la propagation à grande vitesse et sur de grandes distances de quantités très importantes de matériaux semi fluides peut également entraîner des risques élevés pour les personnes et les biens situés dans l'emprise de l'épandage.

Le site est relativement plat. Aucune verse à stériles ou dépôt n'étant présent sur le site, **cet aléa n'est pas retenu.**

#### **10.1.9 - Chute de blocs**

Un écoulement rocheux est un mouvement de pente soudain au cours duquel des masses rocheuses, plus ou moins volumineuses, se détachent d'une paroi pour aller s'écraser au pied du front. Ce type de phénomène concerne donc essentiellement les fronts de fosses à ciel ouvert creusées dans des massifs de roches dures, avec de forts angles de talus.

En fonction du volume de roche écroulé, on parle de chutes de pierres (< 0,1m<sup>3</sup>), de chutes de blocs (0,1 m<sup>3</sup> à 10 m<sup>3</sup>) ou plutôt d'écroulements (10 à 10 000 m<sup>3</sup>).

Les travaux miniers ayant été exclusivement souterrains, aucun parement rocheux n'existe sur le site. **Cet aléa n'est pas retenu.**

## **10.2 - INONDATIONS – PERTURBATIONS HYDRAULIQUES**

---

### **10.2.1 - Modification du régime des émergences**

Les modifications des propriétés du sous-sol par l'exploitation minière entraînent, après la fin de celle-ci, l'établissement d'un schéma de circulation de l'eau souterraine qui diffère de celui qui prévalait pendant l'exploitation, mais aussi de celui qui existait avant la mise en exploitation.

Les exutoires des nappes d'eau souterraine, qu'ils soient naturels (sources, résurgences) ou artificiels (puits ou galeries débouchant au jour), connaissent, du fait de cette modification, des changements qui peuvent être de diverses natures : augmentation ou diminution du débit moyen, réapparition d'émergences ayant été asséchées par l'exploitation, apparition de nouvelles émergences...

Avant ouverture de la mine, il n'y avait ni source ni écoulement permanent dans le secteur, le site était boisé et situé plutôt en point haut.

A la fin des travaux miniers, l'arrêt du pompage des eaux d'exhaure a entraîné une remontée des eaux dans les travaux miniers souterrains. Le système est à l'équilibre depuis 1961-1962, date d'arrêt de l'exploitation, soit depuis plus de 50 ans. On n'observe aucune zone humide ou résurgence au droit du site, même au niveau des deux fontis. **Cet aléa n'est pas retenu.**

### ***10.2.2 - Apparition de zones détrempées ou de marécages***

Ce phénomène survient avec la remontée du niveau piézométrique suite à l'arrêt des pompes d'exhaure, notamment dans les zones basses.

Aucune zone détrempée ou marécage n'est apparu sur le site de la Barrière après l'arrêt des travaux. Toutefois, en cas de tassement des remblais, ou d'apparition de fontis, une zone détrempée pourrait apparaître en fond de tassement. **Cet aléa est donc retenu.**

### ***10.2.3 - Inondation des sous-sols et points bas***

Aucun ouvrage implanté partiellement ou totalement sous la surface du sol (cave, parking...) n'est présent sur le site de la Barrière. **Cet aléa n'est pas retenu.**

### ***10.2.4 - Modification du régime des cours d'eau***

Du temps de l'exploitation, les eaux d'exhaure étaient pompées puis rejetées probablement vers le sud-ouest vers le thalweg de « Chave Combe ». Compte tenu de la nature granitique des terrains et de la présence d'arènes sur une épaisseur de plusieurs mètres dans le secteur, les eaux rejetées devaient s'infiltrer.

Après l'arrêt, la nappe a rempli les travaux miniers (en grande partie remblayés) puis s'est stabilisée à quelques mètres sous la surface du sol.

Aucun cours d'eau n'est présent sur le site ou à proximité immédiate. Aucun exutoire lié aux travaux miniers n'a été identifié sur le site ou à proximité. Aucune modification de régime d'un cours d'eau n'est survenue.

**Cet aléa n'est pas retenu.**

### **10.2.5 - Inondations brutales**

Ce type de phénomène survient dans le cas de réservoirs miniers ennoyés perché en altitude, avec rupture d'un bouchon artificiel ou débouillage d'une galerie effondrée topographiquement plus bas.

Aucun ouvrage implanté partiellement ou totalement sous la surface du sol (cave, parking...) n'est présent sur les sites.

Compte tenu de la topographie, et de la nature et de l'extension relativement réduite des travaux miniers souterrains du site, **cet aléa n'est pas retenu.**

### **10.2.6 - Pollution des eaux**

Compte tenu de la topographie relativement plane du site, un lessivage des matériaux du carreau par les eaux de pluie semble limité.

Le site ne présente aucun rejet d'eau d'exhaure. Aucun exutoire n'est connu à proximité. Aucune station de traitement des eaux n'est présente sur le site de la Barrière.

**L'aléa n'est pas retenu.**

## **10.3 - EMISSION DE GAZ DE MINE ET DE RAYONNEMENTS IONISANTS**

---

Le phénomène redouté correspond à une remontée en surface d'un gaz de mine susceptible de présenter des dangers, principalement pour les personnes, et plus exceptionnellement, pour les biens. Il s'agit des dangers d'inflammation ou d'explosion, d'asphyxie, d'intoxication et d'irradiation.

Pour les mines d'uranium exploitées en milieu granitique, le seul phénomène retenu est l'émission de gaz radon.

Le site de la Barrière étant un ancien site d'extraction de minerai d'uranium, l'émission de gaz de mine (radon) et de rayonnements ionisants est à prendre en compte. **L'aléa est retenu.**

## **10.4 - AUTRES ALEAS**

---

### **10.4.1 - Phénomènes de combustion**

Il n'existe pas de matériaux combustibles sur le site de la Barrière. **Cet aléa n'est pas retenu.**

### **10.4.2 - Installations et ouvrages miniers**

Toutes les installations minières de surface ont été démantelées à l'arrêt de l'exploitation.

Le puits et le montage 2C2 ont été remblayés à l'arrêt de l'exploitation. Même si ces remblais se tassent légèrement au fil du temps, aucune intrusion dans ces ouvrages n'est possible.

**Cet aléa n'est pas retenu.**

## 10.5 - RECAPITULATIF DES PHENOMENES PRIS EN COMPTE

Le tableau suivant récapitule pour chaque site les aléas pris en compte :

ALEAS		Aléas retenus pour le site de la Barrière
MOUVEMENTS DE TERRAIN	Effondrement généralisé	
	Effondrement localisé	<b>X</b>
	Affaissement	
	Crevasses	
	Tassement	<b>X</b>
	Glissement	
	Coulée	
	Chute de blocs	
INONDATIONS - PERTURBATIONS HYDRAULIQUES	Modification du régime des émergences	
	Apparition de zones détrempées ou de marécages	<b>X</b>
	Inondation des sous-sols et points bas	
	Modification du régime des cours d'eau	
	Inondations brutales	
	Pollution des eaux	
GAZ DE MINE	Emission de gaz de mine et de rayonnements ionisants	<b>X</b>
AUTRES	Phénomènes de combustion	
	Installations et ouvrages miniers	

Figure 16 : Tableau récapitulatif des aléas retenus pour le site de la Barrière

## 11 - EVALUATION DES ALEAS SUR LE SITE DE LA BARRIERE

Un état des lieux détaillé du site a été réalisé en mai 2018 par un géologue et un ingénieur en géotechnique de MICA Environnement.

### **11.1 - ALEA EFFONDREMENT LOCALISE**

#### **11.1.1 - Ouvrages concernés et caractéristiques des ouvrages**

##### **Puits :**

Les travaux de reconnaissance minière ont été effectués d'avril 1959 à juin 1960 à partir d'un puits d'une section de 5,7 m<sup>2</sup>. Après reconnaissance du niveau -20 où 68 m de galeries furent réalisés, le puits fut ravalé jusqu'à la cote -44,60 pour permettre l'exécution d'un niveau -40. Il présentait alors une section de 10 m<sup>2</sup> (4 x 2,5 m).

Après l'arrêt des travaux, le puits fut remblayé en 1962 par du tout-venant.

L'emplacement du puits est toujours visible en surface, au niveau du talus sud en bord de piste, matérialisé par la présence d'une zone de tassement : le fontis mesure 3,0 x 3,8 m pour une profondeur maximale de 0,40 m.

##### **Montage :**

Le montage 2C2 a été remblayé avec des matériaux de la verse à stériles juste après la fin des travaux en 1962. Il avait une dimension d'environ 3 m x 1,5 m pour 23 m de profondeur et permettait d'accéder au niveau -20. Un deuxième montage (nommé 2C1) de même dimension que le premier reliait le niveau -20 au niveau -40.

La localisation de l'ancien montage 2C2 débouchant au jour est visible en surface au niveau de l'ancien carreau minier vers les hangars par la présence d'une zone de tassement : le fontis mesure 2,0 x 2,5 m pour une profondeur maximale de 0,20 m.

##### **Galleries/Dépilages :**

D'après les archives disponibles, la tenue des terrains très médiocre nécessitait un soutènement par cadres en bois très dense.

L'exploitation a été menée par tranches montantes remblayées. Le vide créé après évacuation du minerai était comblé par abattage des épontes stériles. Le niveau était rétabli par le foisonnement des produits abattus. Ces matériaux n'étaient vraisemblablement pas compactés, ce qui peut entraîner un tassement de ceux-ci dans le temps.

### Galerie non remblayées :

Les galeries non remblayées sont situées :

- niveau -14,90 en partie ;
- galeries du niveau -20 : a) galerie du puits, b) galerie au nord-ouest, parallèle à celle du puits ;
- niveau intermédiaire -31,10 en partie ; Il n'existe pas de plan de ce niveau
- niveau intermédiaire -32,25 en partie ; Il n'existe pas de plan de ce niveau
- galerie du niveau -40 (-39,77) ;

La section des galeries est variable en fonction des documents d'archives.

### Terrain de recouvrement :

Sur les anciens plans des travaux miniers souterrains, la cote 0 (cote de la surface) correspond à la tête du puits qui se trouve à 2 m au-dessus du carreau minier. La cote relative du carreau minier est donc de -2 m et sera prise en compte dans les calculs de stabilité.

Une carte géologique du niveau -20 permet d'approcher le type de terrain traversé.

Les terrains sont constitués de granites en dehors de la zone défilée (au niveau du puits, de la galerie -20).

Au niveau de la zone défilée, les terrains sont constitués :

- au nord : d'une zone broyée traversée par une faille de direction N 140-75°SW
- de petites fractures N 110, en épis sur cet accident N140
- au centre des travaux, d'une enclave métamorphique très fracturée comprenant des enclaves de granite.

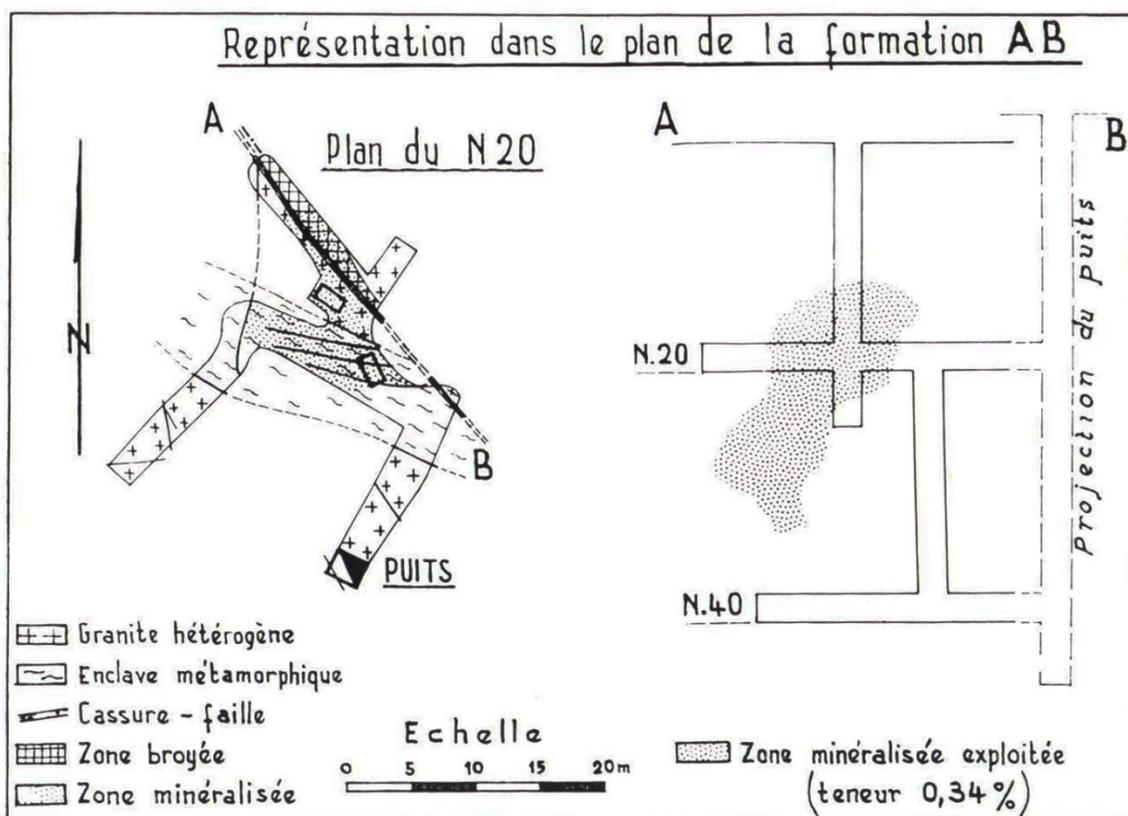


Figure 17 : Carte géologique du niveau -20

### **11.1.2 - Mécanismes d'instabilité**

La méthode d'exploitation par galerie peut engendrer des effondrements localisés en surface par les mécanismes suivants :

- **La rupture par flexion des bancs du toit** : flexion des strates horizontales au toit d'une galerie sous le poids des charges qui leurs sont appliquées (poids propre, recouvrement). Apparition de fissures de traction pouvant mener à la rupture et l'écroulement du toit. Ce phénomène peut entraîner une remontée de cloche et un effondrement brutal localisé.  
Ce phénomène est très probable pour les raisons suivantes :
  - Les caractéristiques mécaniques des terrains peuvent être faibles car le secteur est très faillé, voir broyé et le granite est hétérogène
  - Les galeries sont situées très proches de la surface (entre -10 m et -40m de la surface du sol).
  
- **Les chutes de blocs ou éboulements localisés dans un massif fracturé** : chute libre par ouverture des discontinuités, chute par glissement sur une ou deux discontinuités (depuis le toit ou les parements). La chute ou l'éboulement au toit d'une galerie peut se propager en hauteur sous forme de cloche.  
Ce phénomène peut générer en surface un effondrement brutal localisé (fontis).

### **11.1.3 - Caractéristiques mécaniques des matériaux**

Nous nous basons sur les données d'archives pour fixer les caractéristiques mécaniques des terrains.

- Module d'Young :  $E = 50\,000 \text{ kN/m}^2$  ;
- Coefficient de Poisson :  $\nu = 0,30$  ;
- Poids volumique : compris entre 18 (granite altéré) et 27 (granite sain). On prendra ici une valeur de  $23 \text{ kN/m}^3$  pour la galerie -20 (considérant un granite moyen) et une valeur  $18 \text{ kN/m}^3$  pour la galerie -40 (considérant un granite de mauvaise qualité compte tenue du passage de la faille N140).
- Cohésion :  $1\,500 \text{ kN/m}^2$  ;
- Angle de frottement :  $35^\circ$  le long des épontes ;
- Résistance à la compression :  $100\,000 \text{ kN/m}^2$  (ou 100 MPa) (résistance médiocre pour un granite)
- Résistance à la traction :  $10\,000 \text{ kN/m}^2$  (ou 10 MPa).

#### **11.1.4 - Calculs de stabilité à la rupture par flexion des bancs de toit (calculs rdm)**

##### **11.1.4.1. Différentes modélisations des bancs de toit**

Il est étudié le cas de figure où des discontinuités horizontales découpent des dalles au toit des galeries. L'expérience montre qu'au-dessus d'un vide d'exploitation d'une certaine taille les couches se décollent car la rigidité flexionnelle de la couche du toit est généralement inférieure à celle du massif.

Le toit des galeries peut alors être modélisé comme une poutre ou une dalle posée sur appuis ou encastree. Un calcul de type Résistance des Matériaux permet d'analyser la rupture par traction du banc de toit sollicité en flexion simple (attention, cette méthode ne s'applique pas si les structures sont redressés).

- **Flexion simple d'une poutre sur deux appuis**

Dans le cas d'une poutre sur deux appuis simples de 1m de largeur, sollicitée par une charge « q » uniformément répartie, le moment fléchissant est nul sur les appuis, maximum en milieu de travée et vaut :

$$M_o = \frac{qL^2}{8}$$

- **Flexion simple d'une poutre bi-encastree**

Dans ce cas, la poutre n'est plus libre de se déplacer sur les appuis. Le moment fléchissant au milieu de la poutre diminue et des moments d'encastrement apparaissent au droit des appuis.

$$\text{Au centre : } M_o = \frac{qL^2}{24} \quad \text{et sur les appuis } M_e = \frac{-qL^2}{12}$$

- **Flexion simple d'une dalle isostatique sur appuis**

D'après la norme NF EN 1992-1-1 Eurocode 2 donnant les règles générales des constructions en béton, une dalle porte dans les deux directions si le rapport de la plus faible à la plus grande de ces longueurs  $L_x/L_y$  est supérieur à 0.5.

Dans ce cas, le moment fléchissant est maximal au centre de la dalle dans le sens de la plus grande longueur et satisfait la relation suivante :

$$\mu_x = \frac{M_x}{qL^2} \quad \text{avec } \mu_x = 0,0368 \quad \text{pour } L_x/L_y = 1$$

- **Flexion simple d'une dalle continue constituée de plusieurs travées**

En réalité, les dalles sont rarement isostatiques et simplement appuyées sur leurs quatre cotés. Elles sont continues de travées en travées, avec des moments sur appuis et des moments en travées, inférieurs à ceux développés dans une dalle isostatique.

Les règles françaises de calcul en béton armé (BAEL) donnent des indications pour déterminer les moments sur appuis et en travées.

Les moments fléchissant maximaux calculés dans l'hypothèse de la dalle isostatique peuvent être réduits de 15% à 25%, selon les conditions d'encastrement sur appuis. Les valeurs sur appuis sont évaluées à au moins 40% ou 50% de ces moments fléchissant maximaux.

En notant  $M_o$  le moment isostatique de référence,  $M_w$  et  $M_e$  les valeurs absolues des moments fléchissant sur appuis, respectivement de gauche (west) et de droite (east), et  $M_t$  le moment fléchissant maximal en travée, la modélisation doit vérifier :

$$M_t + \frac{M_e + M_w}{2} \geq 1,25M_o$$

#### **11.1.4.2. Condition d'équilibre en flexion des bancs de toit**

La flexion simple des bancs de toit va créer des contraintes de traction dans les fibres inférieures des bancs. Ces contraintes doivent être inférieures à la résistance à la traction du granite composant ces bancs.

Pour une poutre de section rectangulaire de largeur 1m et de hauteur h, l'équilibre en traction est assuré si la résistance en traction  $R_t$  vérifie l'inégalité suivante :

$$R_t > \frac{6M_o}{h^2} \text{ avec } M_o \text{ le moment flechissant maximal}$$

#### **11.1.4.3. Remarque**

Les calculs sont réalisés en prenant en compte une mine sèche et non noyée. Cette condition est sécuritaire et maximise les contraintes et les déplacements calculés.

Cette approche conduit au coefficient de sécurité le plus faible.

#### 11.1.4.4. Résultats des calculs de stabilité des bancs du toit

##### Galerie -14,90 : sommet de la zone défilée non remblayée

Ce secteur est situé au sommet de la zone défilée. Il s'agit d'un secteur non remblayé. Le toit est situé à 9 m environ de la surface (entre 8,80 et 10 m selon les coupes minières disponibles).

Les résultats des calculs montrent qu'une dalle de 0,50 m d'épaisseur au toit de la galerie est stable pour les calculs en appui simple et par encastrement. Le coefficient de sécurité est inférieur à 1 lorsque la dalle a une épaisseur inférieure à 0,37 m.

Hauteur de recouvrement	<b>H</b>	en m	<b>9</b>
Poids volumique	<b>g</b>	en kN/m <sup>3</sup>	<b>23</b>
Charge linéaire pour 1m de largeur	$q = gH$	en kN/m	207
Portée	<b>L</b>	en m	<b>3</b>
Epaisseur	<b>h</b>	en m	<b>0,5</b>
Largeur	<b>b</b>	en m	1
Module déformation	<b>E</b>	en MPa	<b>50</b>
Moment Inertie	$I = bh^3/12$	en m <sup>4</sup>	0,01041667
Résistance à la traction	<b>Rt</b>	en MPa	<b>10</b>

Appuis simples	Moment max	$M_o = qL^2/8$	en kN.m	232,875
	Flèche max	$fl = 5qL^4/(384EI)$	en mm	419
	Traction max	$T=6M_o/(bh^2)$	en kPa	5589
	<b>COEFFICIENT SECURITE</b>	<b>F</b>		<b>1,79</b>

Encastrement	Moment max	$M_o = qL^2/24$	en kN.m	78
	Flèche max	$fl = qL^4/(384EI)$	en mm	84
	Traction max	$T=6M_o/(bh^2)$	en kPa	1863
	<b>COEFFICIENT SECURITE</b>	<b>F</b>		<b>5,37</b>

**En conclusion, d'après l'analyse de la flexion simple du banc de toit, la stabilité de la galerie -14,90 de la mine est assurée à très long terme dans le cas d'une épaisseur de poutre supérieure à 0,37 m. Ce phénomène peut entraîner une dégradation progressive du toit, avec remontée de cloche dans les terrains de recouvrement.**

### Galerie -20

Les résultats des calculs montrent qu'une dalle de 0,50 m d'épaisseur au toit de la galerie est instable si l'on considère le calcul en appui simple. Si l'épaisseur de la dalle est de 1 m, elle est largement stable pour les deux calculs : par appui simple et par encastrement.

Le phénomène de remontée de cloche par effondrement successif du toit est donc possible.

Hauteur de recouvrement	H	en m	16
Poids volumique	g	en kN/m <sup>3</sup>	23
Charge linéaire pour 1m de largeur	q = gH	en kN/m	368
Portée	L	en m	3
Epaisseur	h	en m	0,5
Largeur	b	en m	1
Module déformation	E	en MPa	50
Moment Inertie	$I = bh^3/12$	en m <sup>4</sup>	0,01041667
Résistance à la traction	Rt	en MPa	10

Appuis simples	Moment max	$M_o = qL^2/8$	en kN.m	414
	Flèche max	$fl = 5qL^4/(384EI)$	en mm	745
	Traction max	$T=6M_o/(bh^2)$	en kPa	9936
	COEFFICIENT SECURITE	F		1,01

Encastrement	Moment max	$M_o = qL^2/24$	en kN.m	138
	Flèche max	$fl = qL^4/(384EI)$	en mm	149
	Traction max	$T=6M_o/(bh^2)$	en kPa	3312
	COEFFICIENT SECURITE	F		2,68

Figure 18 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 0,50 m) de la galerie -20

Hauteur de recouvrement	<b>H</b>	en m	<b>16</b>
Poids volumique	<b>g</b>	en kN/m <sup>3</sup>	<b>23</b>
Charge linéaire pour 1m de largeur	$q = gH$	en kN/m	368
Portée	<b>L</b>	en m	<b>3</b>
Epaisseur	<b>h</b>	en m	<b>1</b>
Largeur	<b>b</b>	en m	1
Module déformation	<b>E</b>	en MPa	<b>50</b>
Moment Inertie	$I = bh^3/12$	en m <sup>4</sup>	0,08333333
Résistance à la traction	<b>Rt</b>	en MPa	<b>10</b>

Appuis simples	Moment max	$M_o = qL^2/8$	en kN.m	414
	Flèche max	$fl = 5qL^4/(384EI)$	en mm	93
	Traction max	$T=6M_o/(bh^2)$	en kPa	2484
	<b>COEFFICIENT SECURITE</b>	<b>F</b>		<b>4,03</b>

Encastrement	Moment max	$M_o = qL^2/24$	en kN.m	138
	Flèche max	$fl = qL^4/(384EI)$	en mm	19
	Traction max	$T=6M_o/(bh^2)$	en kPa	828
	<b>COEFFICIENT SECURITE</b>	<b>F</b>		<b>12,08</b>

Figure 19 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 1 m) de la galerie -20

**En conclusion, d'après l'analyse de la flexion simple du banc de toit, la stabilité de la galerie -20 de la mine n'est pas assurée à très long terme uniquement dans le cas d'une épaisseur de poutre inférieure à 0,50 m (cas le plus défavorable). Ce phénomène peut entraîner une dégradation progressive du toit, avec remontée de cloche dans les terrains de recouvrement.**

### Galerie -40

Les résultats des calculs montrent qu'une dalle de 0,50 m d'épaisseur au toit de la descenderie est instable. Si l'épaisseur de la dalle est de 1 m, elle est stable pour les deux calculs : par appui simple et par encastrement.

Le phénomène de remontée de cloche par effondrement successif du toit est donc possible.

Hauteur de recouvrement	<b>H</b>	en m	<b>36</b>
Poids volumique	<b>g</b>	en kN/m <sup>3</sup>	<b>18</b>
Charge linéaire pour 1m de largeur	$q = gH$	en kN/m	684
Portée	<b>L</b>	en m	<b>3</b>
Epaisseur	<b>h</b>	en m	<b>0,5</b>
Largeur	<b>b</b>	en m	1
Module déformation	<b>E</b>	en MPa	<b>50</b>
Moment Inertie	$I = bh^3/12$	en m <sup>4</sup>	00,01041667
Résistance à la traction	<b>Rt</b>	en MPa	<b>10</b>

Appuis simples	Moment max	$Mo = qL^2/8$	en kN.m	729
	Flèche max	$fl = 5qL^4/(384EI)$	en mm	1312
	Traction max	$T=6Mo/(bh^2)$	en kPa	17496
<b>COEFFICIENT SECURITE</b>			<b>F</b>	<b>0,57</b>

Encastrement	Moment max	$Mo = qL^2/24$	en kN.m	243
	Flèche max	$fl = qL^4/(384EI)$	en mm	262
	Traction max	$T=6Mo/(bh^2)$	en kPa	5832
<b>COEFFICIENT SECURITE</b>			<b>F</b>	<b>1,71</b>

Figure 20 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 0,50 m) de la galerie -40

Hauteur de recouvrement	<b>H</b>	en m	<b>36</b>
Poids volumique	<b>g</b>	en kN/m <sup>3</sup>	<b>18</b>
Charge linéaire pour 1m de largeur	$q = gH$	en kN/m	684
Portée	<b>L</b>	en m	<b>3</b>
Epaisseur	<b>h</b>	en m	<b>1</b>
Largeur	<b>b</b>	en m	1
Module déformation	<b>E</b>	en MPa	<b>50</b>
Moment Inertie	$I = bh^3/12$	en m <sup>4</sup>	0,08333333
Résistance à la traction	<b>Rt</b>	en MPa	<b>10</b>

Appuis simples	Moment max	$Mo = qL^2/8$	en kN.m	7729
	Flèche max	$fl = 5qL^4/(384EI)$	en mm	164
	Traction max	$T=6Mo/(bh^2)$	en kPa	4374
	<b>COEFFICIENT SECURITE</b>	<b>F</b>		<b>2,29</b>

Encastrement	Moment max	$Mo = qL^2/24$	en kN.m	243
	Flèche max	$fl = qL^4/(384EI)$	en mm	33
	Traction max	$T=6Mo/(bh^2)$	en kPa	1458
	<b>COEFFICIENT SECURITE</b>	<b>F</b>		<b>6,86</b>

Figure 21 : Calculs de stabilité des bancs du toit (dalle 1 m) de la galerie -40

**En conclusion**, d'après l'analyse de la flexion simple du banc de toit, la stabilité de la galerie -40 de la mine n'est pas assurée à très long terme uniquement dans le cas d'une épaisseur de poutre inférieur à 0,66 m. Ce phénomène peut entraîner une dégradation progressive du toit, avec remontée progressive de vides dans les terrains de recouvrement.

### 11.1.5 - Coulissage du toit de galerie par effet tiroir

Il est possible, dans un contexte géologique tel que rencontré, qu'un réseau de fractures verticales découpe le toit des galeries. Les anciens plans montrent que la minéralisation s'est avérée liée, à la fois :

- à une zone broyée subverticale de direction N 140 ;
- à de petites fractures N 110, en épis sur cet accident ;
- une autre faille (a priori non minéralisée) subverticale de direction Nord/Sud figure sur les anciens plans des travaux miniers.

Compte tenu des terrains et de l'absence d'affleurement en surface, nous n'avons pu identifier de structures en surface. Dans ce contexte nous considérons que les structures observées en profondeur remontent en surface. Dans ces conditions il peut y avoir un risque de coulissage du toit par effet tiroir entraînant des effondrements dans les galeries.

La stabilité du toit est alors évaluée en comparant le poids du compartiment découpé par des discontinuités verticales à la contrainte de cisaillement mobilisable sur les épontes des discontinuités. Cette contrainte appelée « frottement latéral unitaire limite » dépend des caractéristiques mécaniques des épontes.

Si  $q_{smax}$  est le frottement latéral limite des épontes, P le poids du toit, et Sf la surface de frottement, alors la stabilité est vérifiée par l'inégalité suivante :  $q_{smax} * Sf > P$ .

Le frottement latéral unitaire limite est estimé à partir des règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil (fascicule 62 du CCTG). A partir des essais au pressiomètre de Ménard, la pression limite du sol ou de la roche permet d'estimer  $q_{smax}$ .

Dans le cas de la Barrière nous considérons les épontes comme des granites altérés (Roches A) avec une pression limite nette de **2,5 MPa** (d'après le tableau de Classification des sols, Annexe E.1 du Fascicule 62).

CLASSE DE SOL			PRESSIOMETRE $p_l$ (MPa)	PÉNÉTROMETRE $q_c$ (MPa)
ARGILES, LIMONS	A	Argiles et limons mous	< 0,7	< 3,0
	B	Argiles et limons fermes	1,2 - 2,0	3,0 - 6,0
	C	Argiles très fermes à dures	> 2,5	> 6,0
SABLES, GRAVES	A	Lâches	< 0,5	< 5
	B	Moyennement compacts	1,0 - 2,0	8,0 - 15,0
	C	Compacts	> 2,5	> 20,0
CRAIES	A	Molles	< 0,7	< 5
	B	Altérées	1,0 - 2,5	> 5,0
	C	Compacts	> 3,0	-
MARNES MARNO-CALCAIRES	A	Tendres	1,5 - 4,0	-
	B	Compacts	> 4,5	-
ROCHES <sup>(1)</sup>	A	Altérées	2,5 - 4,0	-
	B	Fragmentées	> 4,5	-

Figure 22 : Tableau de classification des sols (Annexe E.1 du Fascicule 62)

(1) L'appellation de roches altérées ou fragmentées peut regrouper des matériaux calcaires, schisteux ou d'origine granitique.

Le frottement latéral limite ( $q_{smax}$ ) dans le cas de granite altéré est calculé à l'aide de la formule suivante (annexe C.3, article 3 du Fascicule 62) :

$$q_{smax} = q_{sn} \rightarrow \text{pour } P_I / P_n > 1$$

- Avec :
- $q_{sn} = 0,04 * n$  (MPa)
  - $P_n = 1 + 0,5 * n$  (MPa)
  - $n$  désigne le numéro de la courbe de frottement unitaire limite (cf. figure ci-dessous)
  - Le fascicule 62 préconise de retenir au minimum la courbe Q4 (dans ce cas  $q_{smax} = 150$  kPa). Nous prendrons par sécurité la courbe Q1 qui correspond au cas le plus défavorable.

Le frottement latéral limite ( $q_{smax}$ ) dans le cas des travaux minier souterrain de la Barrière est égal à 40 KPa.

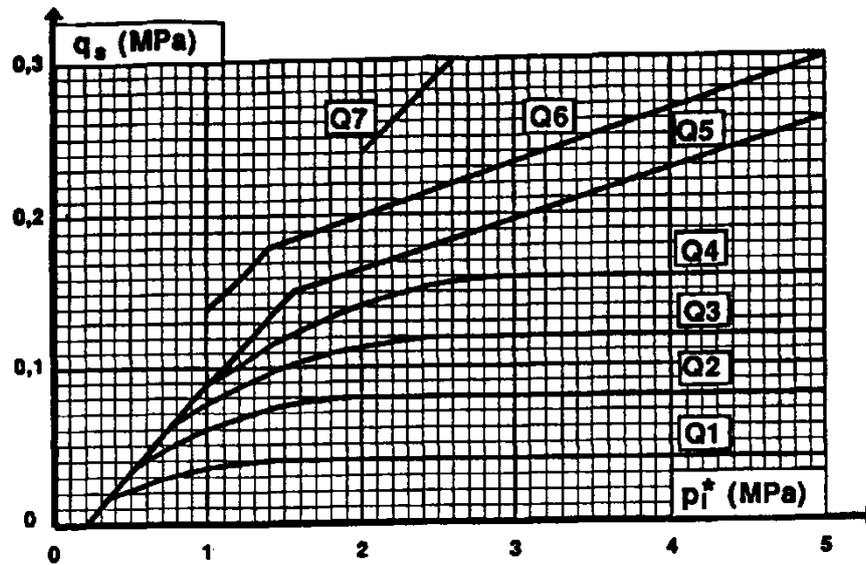


Figure 23 : Courbes de frottement unitaire limite

### 11.1.5.1. Calcul du frottement latéral unitaire minimal ( $q_{smin}$ )

Afin de s'assurer de la stabilité, il est vérifié si le poids propre du toit (délimité par les structures) est équilibré par le frottement latéral toit / roche en place.

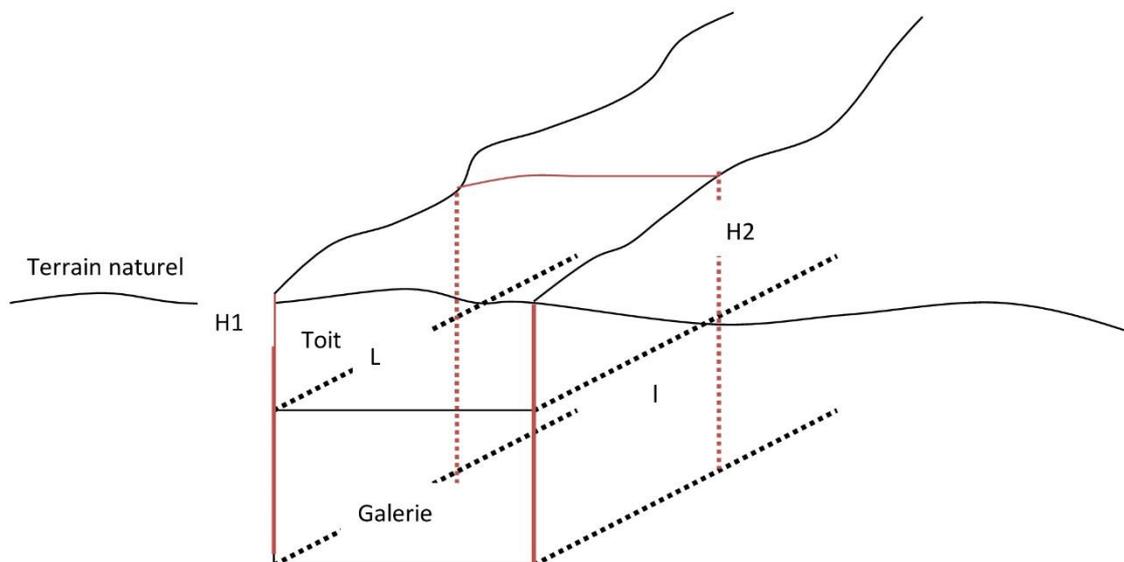


Figure 24 : Schéma du coulisage du toit de galerie par effet tiroir

L	Largeur de la galerie (largeur du parallélépipède)	m
l	Longueur du parallélépipède (dx longueur de galerie)	m
H1	Epaisseur de recouvrement à x mètres de l'entrée de la galerie	m
H2	Epaisseur de recouvrement à x+dx mètres de l'entrée de la galerie	m
d	Masse volumique	kN/m <sup>3</sup>
$q_{smin}$	Frottement latéral unitaire minimal nécessaire	kPa
V	Volume du compartiment de toit	m <sup>3</sup>
P	Poids du compartiment de toit	kN
Sf	Surface de frottement latéral	m <sup>2</sup>

La densité du granite est comprise entre 18 (granite altéré) et 27 (granite sain). On prendra ici une densité de granite  $d = 23 \text{ kN/m}^3$  pour la galerie -14,90 ; -20 et de  $d = 18 \text{ kN/m}^3$  pour la galerie -40.

Le frottement latéral minimal ( $q_{smin}$ ) correspond à la contrainte minimale nécessaire pour équilibrer par frottement le poids du compartiment de toit. Il vérifie l'équation suivante :

$$Q_{smin} = V \cdot d / S_f$$

La surface de frottement  $S_f$  est composée des 4 faces latérales du parallélépipède si l'on considère un compartiment à l'intérieur de la galerie. Elle ne comporte que 3 faces latérales si le compartiment débute à l'entrée de la galerie.

Dans nos calculs, nous considérons un cas défavorable avec : des failles verticales et des épontes rocheuses très altérées avec de faibles caractéristiques mécaniques.

Nous allons calculer le frottement latéral minimal nécessaire ( $q_{smin}$ ) pour stabiliser le compartiment de toit et le comparer au frottement latéral limite mobilisable sur les épontes des failles ( $q_{smax}$ ). Le coefficient de sécurité s'exprime alors :  **$F = q_{smax} / q_{smin}$**

Afin de vérifier la stabilité à long terme du toit des galeries, les coefficients de sécurité devront être supérieurs à 1,5.

#### 11.1.5.2. Résultats des calculs d'effet tiroir

##### **Galerie -14,90 : sommet de la zone dépilée non remblayée**

Ce secteur est situé au sommet de la zone dépilée. Il s'agit d'un secteur non remblayé. Le toit est situé à 9 m environ de la surface (entre 8,80 et 10 m selon les coupes minières disponibles).

En considérant un compartiment découpé au toit avec une largeur de 3 m, une longueur de 8 m et une épaisseur de 1,5 m nous obtenons un coefficient de sécurité de 1,59.

**La stabilité du toit de la galerie est assurée par effet tiroir.**

L largeur galerie (m)	3
l: longueur galerie (m)	8
H1 : hauteur toit (m)	1,5
H2: hauteur toit (m)	1,5
poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	23
Poids toit (KN)	828
Surface de frottement (m <sup>2</sup> )	33
Q <sub>smin</sub> frottement latéral unitaire ( kPa)	<b>25,09</b>
<b>F=Q<sub>smax</sub>/Q<sub>smin</sub></b>	<b>1,59</b>
par comparaison valeurs de Q <sub>smax</sub> (kPa)	40
si épontes argileuses	15 kPa à 80
si épontes rocheuses	40 à 150 kPa

Figure 25 : Calculs de stabilité par effet tiroir de la galerie -14,90

### Galerie -20

En considérant un compartiment découpé au toit avec une largeur de 3 m, une longueur de 18 m et une épaisseur de 16 m nous obtenons un coefficient de sécurité de 1,35.

**La stabilité du toit de la galerie est assurée par effet tiroir.**

L largeur galerie (m)	3
l: longueur galerie (m)	18
H1 : hauteur toit (m)	1,5
H2: hauteur toit (m)	1,5
poids volumique (kN/m3)	23
Poids toit (KN)	1863
surface de frottement (m2)	63
Qsmin frottement latéral unitaire ( kPa)	<b>29,57</b>
<b>F=Qsmax/Qsmin</b>	<b>1,35</b>
par comparaison valeurs de Qsmax (kPa)	40
si épontes argileuses	15 kPa à 80
si épontes rocheuses	40 à 150 kPa

Figure 26 : Calculs de stabilité par effet tiroir de la galerie -20

### Galerie -40

En considérant un compartiment découpé au toit avec une largeur de 5 m, une longueur de 22 m et une épaisseur de 1,5 m nous obtenons un coefficient de sécurité de 1,09 (proche de l'équilibre limite).

**La stabilité du toit de la galerie n'est pas assurée.**

L largeur galerie (m)	5
l: longueur galerie (m)	22
H1 : hauteur toit (m)	1,5
H2: hauteur toit (m)	1,5
poids volumique (kN/m3)	18
Poids toit (KN)	2970
surface de frottement (m2)	81
Qsmin frottement latéral unitaire ( kPa)	<b>36,67</b>
<b>F=Qsmax/Qsmin</b>	<b>1,09</b>
par comparaison valeurs de Qsmax (kPa)	40
si épontes argileuses	15 kPa à 80
si épontes rocheuses	40 à 150 kPa

Figure 27 : Calculs de stabilité par effet tiroir de la galerie -40

**En conclusion :**

**En cas de verticalisation des bancs, ou de présence de discontinuités verticales, le calcul montre que le toit de la mine peut se dégrader par des chutes de toit progressives via des effets « tiroirs » notamment au niveau -40.**

**11.1.6 - Calculs de risque d'apparition de fontis en surface= effondrement brutal**

**11.1.6.1. Description du phénomène**

Le paragraphe précédent a montré pour l'ensemble des galeries (-14,90 ; -20 et - 40) que les terrains de recouvrement ne sont sans doute pas suffisamment résistants au toit. La rupture progressive des terrains au toit des galeries peut entraîner la remontée d'un vide. Si ce vide remonte jusqu'en surface, cela se traduit par un effondrement brutal des terrains (formation d'un fontis en surface de plusieurs mètres de profondeur associé à des fissures et crevasses périphériques).

Ces éboulements successifs au toit de la galerie génèrent un tas dans la galerie qui présente un volume supérieur au volume de vide en raison du foisonnement des terrains éboulés.

L'éboulis peut parfois auto-combler le vide et éviter que la cloche ne vienne percer la surface du terrain.

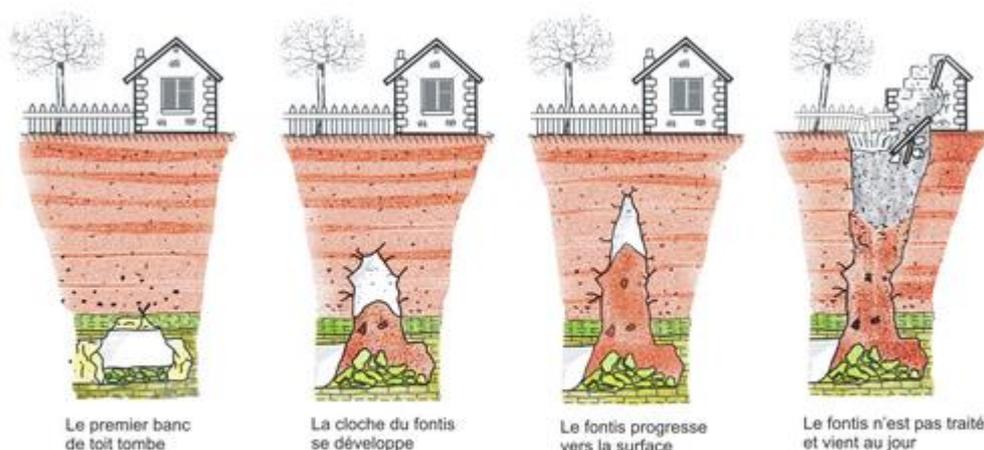


Figure 28 : Schéma de remontée de cloche (source INERIS)

La formule de base établie par MICA Environnement permettant de calculer le risque de remontée de cloche en surface est la suivante :

$$\mathbf{Véboulis = fm \times V \text{ cloche}}$$

$V_{Cloche}$ = volume de la cloche (vide au toit de la galerie)

$V_{éboulis}$ = volume de l'éboulis généré par l'effondrement du toit de la galerie

$F_m$ = coefficient de foisonnement variant de 1,1 à 1,3.

Le calcul est effectué en considérant que l'éboulis dans la galerie forme un cône qui est tronqué par les deux parois latérales de la galerie.

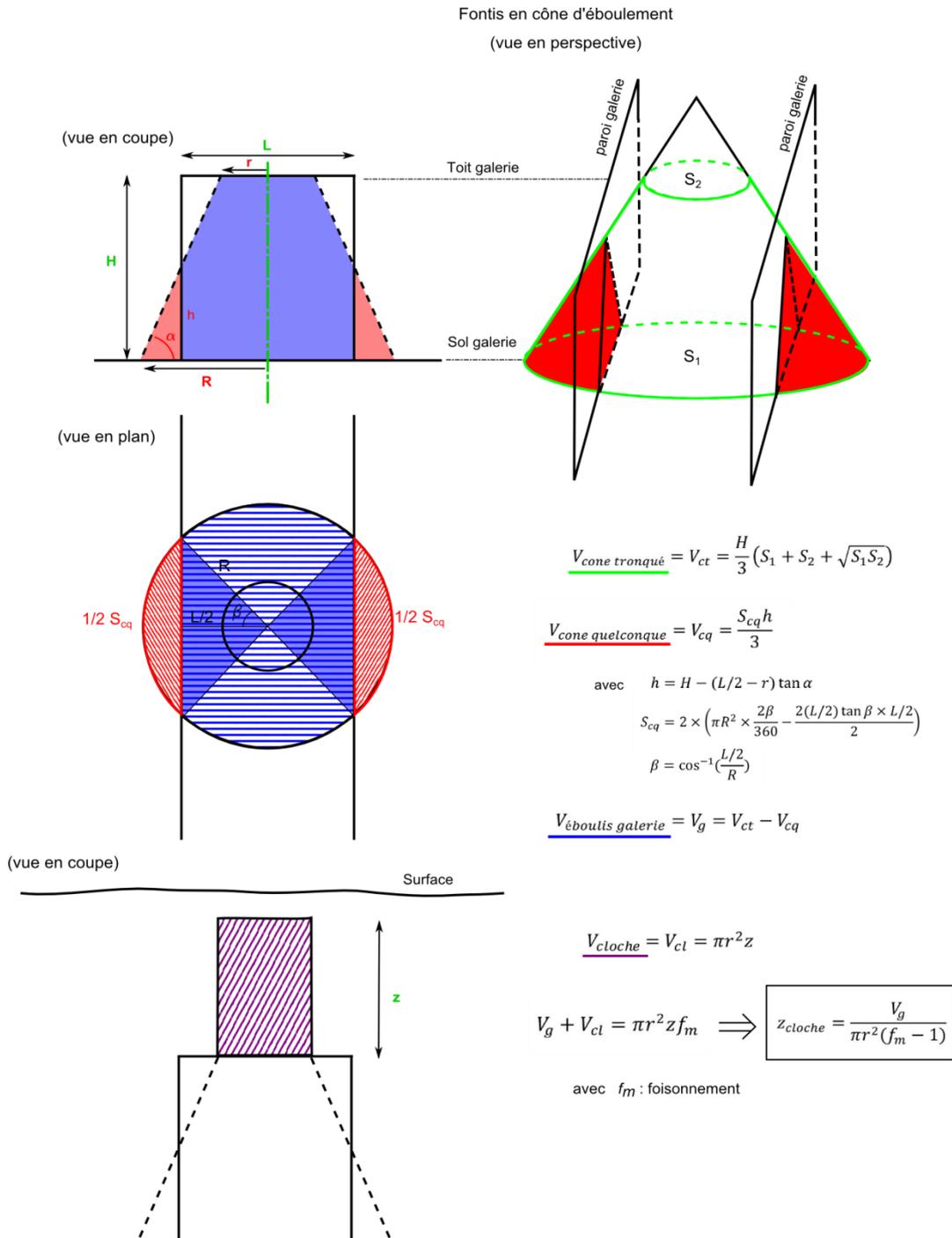


Figure 29 : Formule de remontée de cloche établie par MICA Environnement

Pour information, plusieurs formules permettant d'établir le risque de remontée de cloches existent (voir tableau ci-dessous). L'expérience sur d'autres mines a montré que la formule utilisée par MICA Environnement donne les mêmes résultats que la méthode INERIS.

Nom	2D/3D	Paramètres utilisés	Forme de la cloche de fontis	Remarques
<b>Piggott &amp; Eynon</b>	2D	w, hauteur de vide K, coefficient de foisonnement	Forme non précisée	Ne prend pas en compte le rayon initiateur au toit. Ne peut s'appliquer que dans une galerie sans pilier.
<b>Whittaker &amp; Reddish</b>	3D	w, hauteur de vide K, coefficient de foisonnement r, rayon initiateur au toit $\delta$ , angle de talus du matériau au repos a, largeur entre deux piliers	cylindre de rayon r	Ne prend pas en compte la présence de piliers Suppose un rayon égal à la diagonale d'un carrefour de chambres et piliers.
<b>Vachat</b>	3D	w, hauteur de vide K, coefficient de foisonnement r, rayon initiateur au toit $\phi$ , angle de talus du matériau au repos $\alpha$ , coefficient de forme $\beta$ , coefficient de site	selon la valeur de $\alpha$ cône, parabole ou cylindre	Utilise des coefficients empiriques pour déterminer l'influence de la présence de piliers et la forme de la cloche de fontis. Valable uniquement dans le bassin parisien.
<b>MEIER</b>	2D	w, hauteur de vide K, coefficient de foisonnement r, rayon initiateur au toit $\delta$ , angle de talus du matériau au repos	2 formules : une pour assimiler la cheminée de fontis à un cylindre, l'autre à une forme parabolique	Propose des formules distinctes selon que l'on est dans la situation d'une galerie isolée ou d'un carrefour de chambres et piliers.
<b>INERIS</b>	3D	w, hauteur de vide K, coefficient de foisonnement r, rayon initiateur au toit $\delta$ , angle de talus du matériau au repos a, largeur entre deux piliers $\beta$ , angle des piliers	cylindre de rayon r	Le volume réel des piliers encombrant le cône d'ébouillis est approché. Un calcul rigoureux a montré peu de différence. Formule plus lourde que les trois premières, nécessitant l'utilisation d'une feuille de calcul. Propose des formulations distinctes pour des galeries isolées ou des carrefours de chambres et piliers.

Figure 30 : Diverses formules permettant d'établir le risque de remontée de cloches

### 11.1.6.2. Résultats des calculs remontée de cloche – Qualification de l'aléa

#### Galerie -14,90 : sommet de la zone dépilée non remblayée

Ce secteur est situé au sommet de la zone dépilée. Il s'agit d'un secteur non remblayé. Le toit est situé à 9 m environ de la surface (entre 8,80 et 10 m selon les coupes minières disponibles).

D'après les plans et coupes des travaux miniers souterrains disponibles, une hauteur maximum de 3,5 m et une largeur de 3 m ont été retenues pour la galerie -14,90.

Le tableau suivant présente le résultat des calculs :

<b>CLOCHE CIRCULAIRE DANS GALERIE 3,5 m x 3 m</b>			
Hauteur galerie	H	<b>3,50</b>	m
Largeur galerie	L	<b>3,00</b>	m
Foisonnement	fm	<b>1,30</b>	
Angle du cône d'éboulis	a	<b>35</b>	°
Rayon cloche	r	<b>1,50</b>	m
Surface cloche au toit	S <sub>2</sub>	7,07	m <sup>2</sup>
Rayon cône au sol ( R )	R	6,50	m
Surface cône au sol	S <sub>1</sub>	132,67	m <sup>2</sup>
Volume cône tronqué	V <sub>ct</sub>	198,76	m <sup>3</sup>
Angle interceptant la paroi	2b	153,31	°
Surface base cone quelconque	S <sub>cq</sub>	94,03	m <sup>2</sup>
Hauteur cône quelconque	h	3,50	m
Volume cône quelconque	V <sub>cq</sub>	109,70	m <sup>3</sup>
Volume éboulis galerie	V <sub>g</sub>	89,06	m <sup>3</sup>
Hauteur cloche vide	Z <sub>v</sub>	9,69	m
<b>Hauteur cloche auto-comblement</b>	Z	<b>42,00</b>	<b>m</b>
Volume cloche	V <sub>cl</sub>	296,86	m <sup>3</sup>

Figure 31 : Calculs de remontée de cloche pour la galerie -14,90

Les calculs montrent qu'il faudrait une hauteur de recouvrement de 42 m minimum au-dessus de la galerie pour qu'il y ait auto-comblement de la cloche. Dans le cas présent, la hauteur d'auto-comblement de la cloche est nettement supérieure (42m) à la hauteur de recouvrement (9 m). Il se produira donc un fontis en surface.

<b>CONE DE TASSEMENT EN SURFACE</b>			
Profondeur toit galerie	pf	<b>9,00</b>	m
Epaisseur terrain déconsolidé	e <sub>c</sub>	<b>2,00</b>	m
Angle min du cône en surface	a	<b>35</b>	°
Angle max du cône en surface	a	<b>40</b>	°
<b>Diamètre max cône en surface</b>	<b>D<sub>1</sub></b>	<b>8,71</b>	<b>m</b>
<b>Diamètre min cône en surface</b>	<b>D<sub>2</sub></b>	<b>7,77</b>	<b>m</b>
Différence H cloche - Pf galerie	dH	9,00	m
<b>Tassement max grand cône</b>	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>4,16</b>	<b>m</b>
<b>Tassement max petit cône</b>	<b>e<sub>2</sub></b>	<b>5,24</b>	<b>m</b>

Figure 32 : Calcul du cône de tassement en surface pour la galerie -14,90

**Conclusion :**

**Le calcul du cône de tassement montre qu'il se formera un fontis d'un diamètre de 8 m environ pour une profondeur de 4 à 5 m.**

NB : aucune trace de fontis ou tassement n'a été observé sur le carreau minier au droit de la galerie -14,90 depuis l'arrêt des travaux en 1961, en dehors des deux tassements des remblais du montage 2C2 et du puits.

On peut penser dans ces conditions que : soit la galerie a été remblayée à la fin des travaux, soit la galerie s'est en partie remblayée suite à la migration des matériaux depuis le montage 2C2 vers les vides résiduels, soit une cloche est en train de remonter depuis la galerie mais n'a pas encore percé la surface.

Compte tenu que la galerie -14,90 est proche de la surface, et étant donné qu'il y a un manque d'information sur le système de confortement, la prédisposition est considérée comme sensible. L'intensité étant considérée comme modérée, l'aléa apparition de fontis en surface est considéré comme moyen pour la galerie -14,90.

## Galerie -20

D'après les plans des travaux miniers souterrains, une hauteur de 2 m et une largeur de 3 m ont été retenues pour la galerie -20.

Le tableau suivant présente le résultat des calculs :

<b>CLOCHE CIRCULAIRE DANS GALERIE 2mx3m</b>			
Hauteur galerie	H	<b>2,00</b>	m
Largeur galerie	L	<b>3,00</b>	m
Foisonnement	fm	<b>1,30</b>	
Angle du cône d'éboulis	a	<b>35</b>	°
Rayon cloche	r	<b>1,50</b>	m
Surface cloche au toit	S <sub>2</sub>	7,07	m <sup>2</sup>
Rayon cône au sol ( R )	R	4,36	m
Surface cône au sol	S <sub>1</sub>	59,62	m <sup>2</sup>
Volume cône tronqué	V <sub>ct</sub>	58,14	m <sup>3</sup>
Angle interceptant la paroi	2b	139,72	°
Surface base cône quelconque	S <sub>cq</sub>	34,01	m <sup>2</sup>
Hauteur cône quelconque	h	2,00	m
Volume cône quelconque	V <sub>cq</sub>	22,67	m <sup>3</sup>
Volume éboulis galerie	V <sub>g</sub>	35,47	m <sup>3</sup>
Hauteur cloche vide	z <sub>v</sub>	3,86	m
<b>Hauteur cloche auto-comblement</b>	z	<b>16,73</b>	<b>m</b>
Volume cloche	V <sub>cl</sub>	118,24	m <sup>3</sup>

Figure 33 : Calculs de remontée de cloche pour la galerie -20

Les calculs montrent qu'il faudrait une hauteur de recouvrement de 16,7 m minimum au-dessus de la galerie pour qu'il y ait auto-comblement de la cloche.

Dans le cas présent, la hauteur d'auto-comblement de la cloche est légèrement supérieure à la hauteur de recouvrement (15,6 m). Il se produira donc un fontis en surface.

<b>CONE DE TASSEMENT EN SURFACE</b>			
Profondeur toit galerie	pf	<b>15,00</b>	m
Epaisseur terrain déconsolidé	e <sub>c</sub>	<b>2,00</b>	m
Angle min du cône en surface	a	<b>35</b>	°
Angle max du cône en surface	a	40	°
<b>Diamètre max cône en surface</b>	<b>D<sub>1</sub></b>	<b>8,71</b>	<b>m</b>
<b>Diamètre min cône en surface</b>	<b>D<sub>2</sub></b>	<b>7,77</b>	<b>m</b>
Différence H cloche - Pf galerie	dH	1,73	m
<b>Tassement max grand cône</b>	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>0,80</b>	<b>m</b>
<b>Tassement max petit cône</b>	<b>e<sub>2</sub></b>	<b>1,01</b>	<b>m</b>

Figure 34 : Calcul du cône de tassement en surface pour la galerie -20

**Conclusion :**

**Le calcul du cône de tassement montre qu'il se formera un tassement de l'ordre du mètre avec un diamètre de 8 m environ.**

La prédisposition d'apparition de fontis en surface pour la galerie -20 est considérée comme **sensible**, et l'intensité comme **modérée**. L'aléa apparition de fontis en surface est considéré comme **moyen** pour la galerie -20.

## Galerie - 40

Le tableau suivant présente le résultat des calculs:

<b>CLOCHE CIRCULAIRE DANS GALERIE 2mx5m</b>			
Hauteur galerie	H	<b>2,00</b>	m
Largeur galerie	L	<b>5,00</b>	m
Foisonnement	fm	<b>1,30</b>	
Angle du cône d'éboulis	a	<b>35</b>	°
Rayon cloche	r	<b>2,50</b>	m
Surface cloche au toit	S <sub>2</sub>	19,63	m <sup>2</sup>
Rayon cône au sol ( R )	R	5,36	m
Surface cône au sol	S <sub>1</sub>	90,13	m <sup>2</sup>
Volume cône tronqué	V <sub>ct</sub>	101,22	m <sup>3</sup>
Angle interceptant la paroi	2b	124,35	°
Surface base cône quelconque	S <sub>cq</sub>	38,58	m <sup>2</sup>
Hauteur cône quelconque	h	2,00	m
Volume cône quelconque	V <sub>cq</sub>	25,72	m <sup>3</sup>
Volume éboulis galerie	V <sub>g</sub>	75,50	m <sup>3</sup>
Hauteur cloche vide	z <sub>v</sub>	2,96	m
<b>Hauteur cloche auto-comblement</b>	z	<b>12,82</b>	<b>m</b>
Volume cloche	V <sub>cl</sub>	251,67	m <sup>3</sup>

Figure 35 : Calculs de remontée de cloche pour la galerie -40

Pour arriver à l'auto comblement, il faudrait une hauteur de recouvrement de 12,8 m minimum au-dessus de la galerie. La hauteur de recouvrement étant de 36 m minimum au-delà de la section comblée, il n'y a donc pas de possibilité de remontée de fontis en surface depuis la galerie -40.

**Avec une prédisposition sensible et une intensité « nulle », l'aléa remontée de cloche / apparition de fontis en surface est considéré comme « nul » pour la galerie -40.**

### 11.1.7 - Débourageage du puits

Le débourageage d'un puits se traduit par une descente soudaine des remblais dans le puits. A court terme, les parois du puits restent verticales. A long terme, les terrains autour du puits se réajustent en formant un cône d'effondrement.

Dans le cas présent, le puits a été remblayé avec des stériles depuis la surface. Plusieurs apports successifs de matériaux ont été faits du fait du tassement des remblais. A l'heure actuelle, le haut des remblais se situe environ 10 à 40 cm sous la surface du sol.

Nous considérons ici que les galeries -20 et -40 sont vides et que les remblais du puits débourent dans ces galeries formant un cône d'éboulis de 26,25 m<sup>3</sup> :

- Largeur de la galerie = 3 m
- Hauteur de la galerie = 2,5 m
- Angle du cône dans la galerie = 20° (cas défavorable)

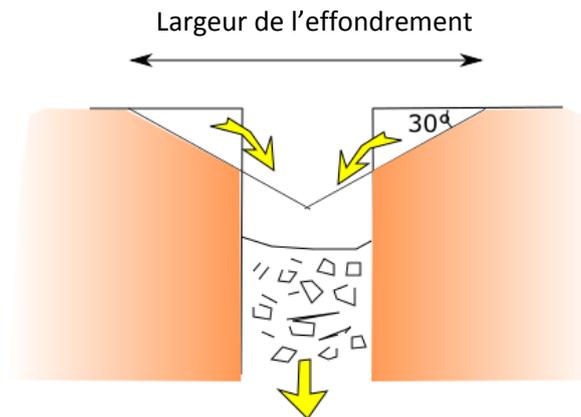


Figure 36 : Schéma du débourageage d'un puits et de la formation d'un cône d'effondrement

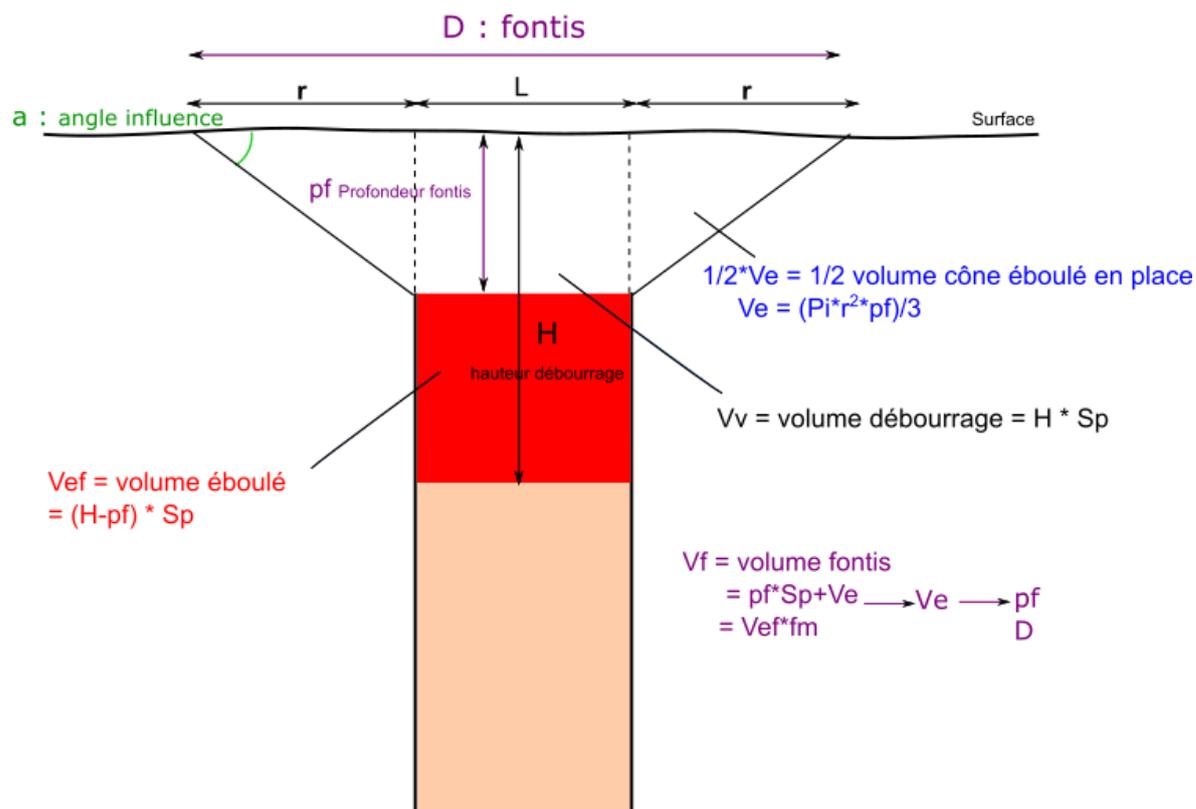


Figure 37 : Schéma et formules de calculs du débouillage d'un puits et de la formation d'un cône d'effondrement

### DEBOURRAGE Puits carré ou rectangulaire

Grand côté du puits	L	<b>4,00</b>	m
Petit côté du puits	l	<b>2,50</b>	m
Surface puits	Sp	10	m <sup>2</sup>
Foisonnement	fm	<b>1,30</b>	
Angle du cône d'éboulis	a	<b>38</b>	°

Hauteur débouillage	H	<b>5,25</b>	m
Volume débouillage	Vv	52,50	m <sup>3</sup>
Hauteur couverture meuble	C	<b>2,00</b>	m
Rayon cône éboulé en place	r	2,56	m
Surface cône éboulé en place	Sc	20,59	m <sup>2</sup>
Volume cône éboulé en place	Ve	13,72	m <sup>3</sup>
Volume dépression en surface	Vd	48,38	m <sup>3</sup>

Diamètre dépression	D	9,12	m
Surface dépression	Sd	65,32	m <sup>2</sup>
Profondeur dépression	h	2,222	m

Figure 38 : Calculs du diamètre du fontis en cas de débouillage du Puits

**Conclusion** : en cas de débouillage du remblai du puits dans les galeries -20 et -40, il se formera une cuvette de dépression d'un diamètre de 9 m pour une profondeur de l'ordre de 2 m.

Le tableau suivant présente les valeurs seuils pour qualifier l'intensité du phénomène (d'après INERIS) :

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (profondeur centimétrique)
Limitée	$\varnothing < 5$ m
Modérée	$5 \text{ m} < \varnothing < 10$ m
Elevée	$\varnothing > 10$ m

Figure 39 : Classes d'intensité en fonction du diamètre de l'effondrement

L'intensité de l'aléa est donc considérée comme **modérée**. La prédisposition est **très sensible** car ce phénomène se produit après chaque épisode pluvieux important. **L'aléa est considéré comme « fort » sur un diamètre de 9 m de large centré sur l'axe du puits** (correspondant au double de la plus grande dimension du puits).

### 11.1.8 - Débouillage du montage 2C2

Le montage 2C2 reliait le niveau -20 à la surface. Ce montage avait pour dimensions 3 x 1,5 m pour une profondeur de 24,2 m. Il a été remblayé à l'arrêt de l'exploitation. Plusieurs apports successifs de matériaux du fait du tassement des remblais. A l'heure actuelle, le haut des remblais se situe 10 à 20 cm sous la surface du sol.

Le débouillage se traduit par une descente soudaine des remblais dans le montage. A court terme, les parois du montage restent verticales. A long terme, les terrains autour du montage se réajustent en formant un cône d'effondrement.

D'après les coupes et les plans historiques, nous considérons ici un vide résiduel au-dessus de la partie remblayée correspondant à une section de 1,50 m à maximum 3 m de hauteur. Ce vide peut former deux cônes de débouillage.

- Largeur de la section = 3 m
- Hauteur de la section = 1,5 m et 3 m
- Angle du cône dans le vide résiduel = 20° (cas défavorable)

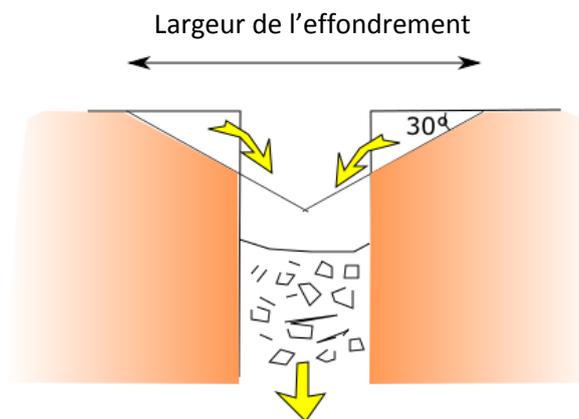


Figure 40 : Schéma du débouillage d'un montage et de la formation d'un cône d'effondrement

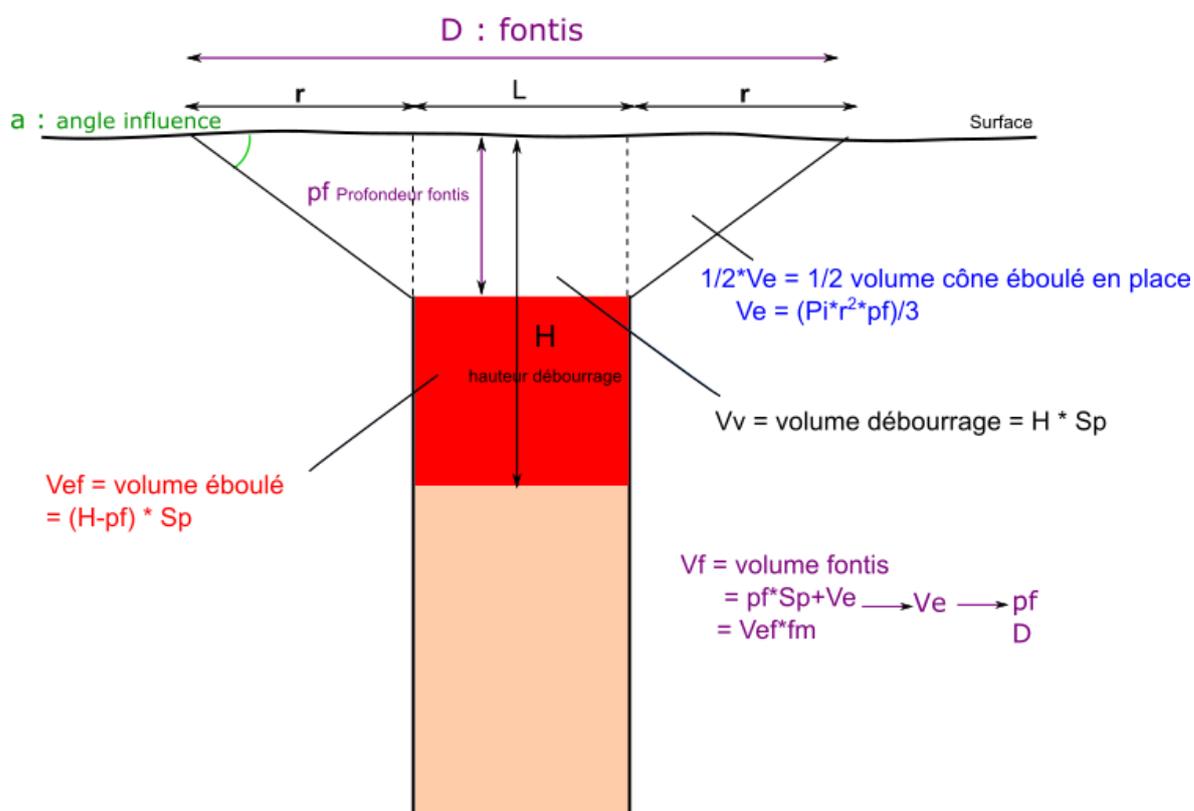


Figure 41 : Schéma et formules de calculs du débouillage d'un montage et de la formation d'un cône d'effondrement

<b>DEBOURRAGE Montage 2C2 (vide résiduel de 1,5m de hauteur)</b>			
Grand côté du puits	L	<b>3,00</b>	m
Petit côté du puits	l	<b>1,50</b>	m
Surface puits	Sp	4,5	m <sup>2</sup>
Foisonnement	fm	<b>1,30</b>	
Angle du cône d'éboulis	a	<b>38</b>	°
Hauteur débouillage	H	<b>4,00</b>	m
Volume débouillage	Vv	18,00	m <sup>3</sup>
Hauteur couverture meuble	C	<b>2,00</b>	m
Rayon cône éboulé en place	r	2,56	m
Surface cône éboulé en place	Sc	20,59	m <sup>2</sup>
Volume cône éboulé en place	Ve	13,72	m <sup>3</sup>
Volume dépression en surface	Vd	13,88	m <sup>3</sup>
Diamètre dépression	D	8,12	m
Surface dépression	Sd	51,78	m <sup>2</sup>
Profondeur dépression	h	0,804	m

Figure 42 : Calculs du diamètre du fontis en cas de débouillage du montage 2C2 (vide résiduel de 1,5m de hauteur)

DEBOURRAGE Montage 2C2			
Grand côté du puits	L	3,00	m
Petit côté du puits	l	1,50	m
Surface puits	Sp	4,5	m <sup>2</sup>
Foisonnement	fm	1,30	
Angle du cône d'éboulis	a	38	°
Hauteur débouillage	H	8,00	m
Volume débouillage	Vv	36,00	m <sup>3</sup>
Hauteur couverture meuble	C	2,00	m
Rayon cône éboulé en place	r	2,56	m
Surface cône éboulé en place	S <sub>c</sub>	20,59	m <sup>2</sup>
Volume cône éboulé en place	V <sub>e</sub>	13,72	m <sup>3</sup>
Volume dépression en surface	Vd	31,88	m <sup>3</sup>
Diamètre dépression	D	8,12	m
Surface dépression	S <sub>d</sub>	51,78	m <sup>2</sup>
Profondeur dépression	h	1,847	m

Figure 43 : Calculs du diamètre du fontis en cas de débouillage du montage 2C2 (vide résiduel de 3m de hauteur)

### Conclusion :

#### En cas de débouillage du remblai du montage 2C2, et :

- Dans le cas d'un vide résiduel de 1,5 m de hauteur au toit du défilage, il peut se produire un affaissement d'un diamètre de 8 m en surface sur une profondeur de 80 cm.
- Dans le cas d'un vide résiduel de 3 m de hauteur au toit du défilage, il peut se produire un affaissement d'un diamètre de 8 m en surface sur une profondeur de 1,80 m.

Le tableau suivant présente les valeurs seuils pour qualifier l'intensité du phénomène (d'après INERIS) :

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (profondeur centimétrique)
Limitée	$\varnothing < 5$ m
Modérée	$5 \text{ m} < \varnothing < 10$ m
Elevée	$\varnothing > 10$ m

Figure 44 : Classes d'intensité en fonction du diamètre de l'effondrement

L'intensité de l'aléa est considérée comme **modérée** car l'affaissement en surface peut être de l'ordre de 8 m de diamètre. La prédisposition est **très sensible** car nous ne connaissons pas précisément la hauteur du remblayage dans le défilage. Sur les coupes disponibles, un possible vide de 1,5 m à 3 m de haut semble subsister dans la partie haute du défilage, ce qui corrobore le fait que les remblais du montage continuent de migrer vers les travaux miniers. **L'aléa est donc fort sur un diamètre de 8 m de diamètre centré sur l'axe du montage 2C2.**

## 11.2 - ALEA TASSEMENT

L'aléa tassement a été retenu pour le puits et le montage 2C2.

Les nuisances initiées par les phénomènes de tassement résultent du développement de tassements différentiels (différents en amplitude d'un point à l'autre d'une fondation de bâtiment, infrastructure...). C'est principalement l'amplitude verticale de ces mouvements différentiels qui régit l'intensité du phénomène, mais comme il est difficile d'évaluer cette amplitude, on se réfère généralement à celle du tassement maximal possible en un point donné.

Ce type de désordre est de nature à engendrer des dégradations aux biens (bâti et infrastructures) présents en surface mais pas à mettre en danger les populations. Sauf exception, l'intensité des conséquences d'un phénomène de tassement demeure limitée (ordre centimétrique à décimétrique).

Classe d'intensité	Amplitude prévisible
Très limitée	Amplitude d'ordre centimétrique
Limitée	Amplitude d'ordre décimétrique

Figure 45 : Classes d'intensité de l'aléa tassement

Les tassements des remblais du puits et du montage 2C2 observés en mai/juin 2018 était compris entre 10 et 40 cm par rapport à la surface du terrain. Une classe d'intensité **limitée** est donc retenue. La prédisposition est **très sensible** car ce phénomène s'est reproduit à plusieurs reprises et est encore observable à l'heure actuelle. **L'aléa tassement est donc « moyen » au droit du puits et du montage 2C2.**

## 11.3 - ALEA INONDATIONS - PERTURBATIONS HYDRAULIQUES

### 11.3.1 - Apparition de zones détrempées

Une zone détrempée peut apparaître en cas de fontis ou de tassement au droit des travaux miniers de la Barrière. Toutefois, le niveau de la nappe d'arène n'est pas connu.

La définition de l'intensité s'appuie principalement sur la notion de limitation de l'usage.

Classe d'intensité	Description
Modérée	Sols spongieux impraticables et incultivable
Elevée	Plan d'eau libre intermittent
Très élevée	Plan d'eau permanent

Figure 46 : Classes d'intensité de l'aléa zone détrempée

Dans le cas du site de la Barrière, nous avons vu précédemment qu'en cas d'apparition de fontis en surface, la profondeur de celui-ci pourrait atteindre 2 m maximum.

Si la nappe se trouve à plus de 2 m de profondeur, **l'aléa apparition de zone détrempée est nul.**

En revanche, si la nappe est à moins de 2 m de profondeur, **la classe d'intensité est élevée, et la prédisposition est peu sensible étant donné que le niveau de la nappe n'est pas connu. L'aléa dans ce cas est donc moyen.**

## 11.4 - ALEA EMISSIONS DE GAZ DE MINE ET DE RAYONNEMENTS IONISANTS

L'échelle d'intensité ci-dessous reprend les valeurs guide proposées par l'INERIS :

Classe d'intensité	Emission de gaz de mine
Très limitée à limitée	Emission de radon à des teneurs supérieures à 1 000 Bq/m <sup>3</sup> mais inférieures à 10 000 Bq/m <sup>3</sup>
Moyen	Emission de radon à des teneurs supérieures à 10 000 Bq/m <sup>3</sup>

Figure 47 : Classes d'intensité en fonction de la concentration en radon dans l'air

Aucune donnée sur l'air n'est présente pour le site de la Barrière. Celui-ci ne présente aucun stockage de résidus ou tas de lixiviation de minerai.

En l'absence d'informations, et par analogie avec d'autres sites miniers exploités en contexte granitique (site minier uranifère de la Vedrenne distant de 6 km), du fait également que l'extension des travaux miniers ait été modeste, il est proposé d'affecter une classe d'intensité **limitée**.

La prédisposition d'un réservoir granitique à émettre du radon est réelle dans la mesure où le fond géochimique en uranium est élevé. Pour le site de la Barrière, la minéralisation était concentrée dans un réseau de filons et failles servant de drains naturels pour la propagation du radon vers la surface. Cependant ce phénomène est atténué par la présence de la nappe d'arènes près de la surface piégeant ainsi le radon facilement soluble dans l'eau.

Compte tenu de la méthode d'exploitation par tranches montantes remblayées, du fait que les travaux miniers soient très probablement enoyés depuis plus de 50 ans, la possibilité que du gaz (radon) s'accumule dans les vides résiduels pour ensuite migrer vers la surface est très faible.

La prédisposition est considérée comme **sensible** et l'intensité comme **limitée**. L'aléa émission de gaz de mine (radon) et de rayonnements ionisants est considéré comme **faible**.

### ***11.5 - INSTALLATIONS ET OUVRAGES MINIERES***

---

Plus aucune installation minière de surface n'est présente sur le site de la Barrière. Les bâtiments présents actuellement ont été apportés par le propriétaire actuel du terrain en 1974, une douzaine d'années après la fermeture de la mine. Ceci est confirmé par les photographies aériennes historiques de l'IGN.

Le puits et le montage 2C2 ont été remblayés à l'arrêt de l'exploitation. Même si ces remblais se tassent légèrement au fil du temps, aucune intrusion dans ces ouvrages n'est possible.

**L'aléa de pénétration dans les ouvrages miniers est considéré comme « nul » pour le site de la Barrière.**

## 11.6 - RECAPITULATIF DES ALEAS ET SYNTHESE CARTOGRAPHIQUE

Carte de synthèse des aléas à 1 : 500 Document n°18.118 / T3-11 Dans le texte

Le tableau suivant récapitule les classes des aléas :

ALEAS RETENUS			CLASSE D'INTENSITE DE L'ALEA
MOUVEMENTS DE TERRAIN	Effondrement localisé	Galerie -14,90 : apparition de fontis en surface	Moyen
		Galerie -20 : apparition de fontis en surface	Moyen
		Galerie -40 : apparition de fontis en surface	Nul
		Débouillage du puits	Fort
	Débouillage du montage 2C2	Fort	
	Tassement	Puits et montage 2C2	Moyen
INONDATIONS - PERTURBATIONS HYDRAULIQUES	Apparition de zones détremées		Nul à moyen
GAZ DE MINE ET RAYONNEMENTS IONISANTS	Emission de gaz de mine (radon) et de rayonnements ionisants		Faible
AUTRES	Installations et ouvrages miniers	Pénétration dans les ouvrages	Nul

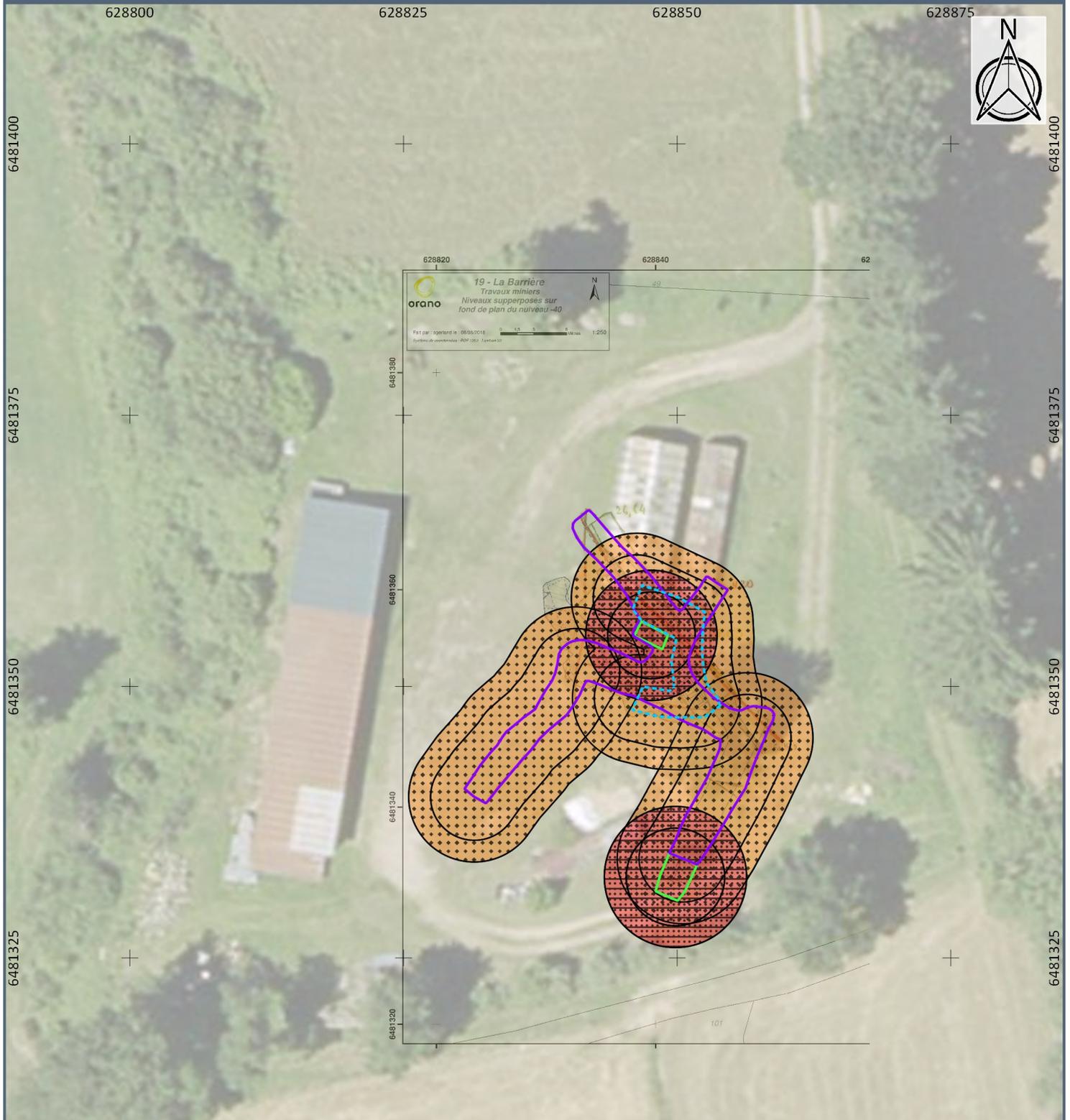
Figure 48 : Tableau récapitulatif des aléas retenus et de leur classe d'intensité

Sur la carte de synthèse des aléas, les aléas « nuls » et « faibles » n'ont pas été représentés.

Pour l'établissement de la carte des aléas, l'aléa « apparition de zones détremées » a été volontairement classé en « non qualifié » (selon la terminologie GEODERIS) et ne figure pas sur la carte pour deux raisons : 1/ nous n'avons pas d'information sur le niveau de la nappe piézométrique et ne pouvons ainsi qualifier précisément l'intensité de l'aléa ; 2/ afin de ne pas surcharger la carte.

Pour l'établissement de la carte des aléas, une marge d'incertitude de 2 m a été retenue pour l'emplacement des galeries, l'emplacement du montage et du puits étant repérables sur le terrain. Cette zone d'incertitude est intégrée au zonage d'aléas.

En cas de chevauchement de deux zones d'aléas, l'aléa le plus fort prédomine.



## Légende

-  Galerie niveau -14.90
-  Galerie niveau -20
-  Ouvrage débouchant au jour

### Aléa

-  Fort

 Moyen

### Types d'aléas

-  Effondrement localisé - Debouillage
-  Effondrement localisé - Fontis
-  Tassement

## 12 - ENJEUX SUR LE SITE DE LA BARRIERE EXPOSES AUX ALEAS

Les exploitations minières doivent respecter les contraintes et les obligations nécessaires à la préservation des intérêts (enjeux exposés aux aléas) mentionnés à l'article L161-1 du Code Minier. Les enjeux correspondent aux personnes, à l'environnement et aux biens au sens large.

Les enjeux sont classés en quatre catégories en fonction de leur vulnérabilité : non vulnérable, peu vulnérable, vulnérable et très vulnérable.

### ***12.1 - SANTE ET SECURITE DU PERSONNEL SUR SITE***

Plus aucune exploitation n'est menée sur le site de la Barrière depuis 1961. Le site n'est soumis à aucune surveillance réglementaire.

Le personnel ORANO effectue des visites occasionnelles de quelques heures sur le site, pour le compte de sa filiale COMPAGNIE FRANCAISE DE MOKTA, pour des missions de contrôle et de mesures, et notamment dans le cadre de la présente déclaration d'arrêt des travaux. Le personnel est présent sur le site seulement quelques heures par an.

**L'enjeu est « peu vulnérable ».**

### ***12.2 - SECURITE ET SALUBRITE PUBLIQUES***

Le site de la Barrière est situé sur une propriété privée n'appartenant pas à la CFM.

Le défilage, le puits, le montage et le carreau sont situés sur la parcelle cadastrale n°100. Sur cette parcelle, des hangars sont présents et servent notamment à l'entreposage de matériel et de bois, et d'abris pour un camping-car.

Ce plan compteur met en évidence les valeurs suivantes :

- le chemin d'accès depuis la route présente des valeurs élevées, comprises entre 800 et 1 800 c/s SPPY sur une portion d'environ 70 mètres de longueur ;
- le carreau minier présente des valeurs comprises entre 250 et 1 500 c/s SPPY. La majeure partie du carreau présente des valeurs supérieures à 400 c/s SPPY. Les valeurs les plus élevées (> 650 c/s SPPY) sont situées au droit des travaux miniers souterrains et représentent une superficie d'environ 400 m<sup>2</sup>.

Aucun captage d'eau servant à l'alimentation en eau potable n'est situé à proximité du site.

**L'enjeu est « vulnérable ».**

---

### **12.3 - SECURITE DES PERSONNES ET DES ANIMAUX**

---

Le site de la Barrière est situé sur une propriété privée n'appartenant pas à la CFM. Les propriétaires se rendant fréquemment sur cette parcelle, la circulation occasionnelle de véhicules au droit des travaux miniers souterrains, conduisent à considérer une vulnérabilité élevée à l'égard de la sécurité des personnes et des animaux.

**L'enjeu est « très vulnérable ».**

---

### **12.4 - EDIFICES PUBLICS ET PRIVES**

---

Les habitations les plus proches du site de la Barrière sont situées au niveau du hameau de la Barrière, 140 m à l'est environ.

Des hangars sont situés sur le site même de la Barrière, à proximité immédiate voire dans l'emprise même des travaux miniers souterrains.

**L'enjeu est « très vulnérable ».**

---

### **12.5 - CONSERVATION DES VOIES DE COMMUNICATION**

---

Aucune voie de communication ne traverse le site de la Barrière.

La route départementale RD1089, reliant Egletons à Ussel, passe à l'ouest du site de la Barrière. Elle est située au plus proche du site à 500 m au nord-ouest.

La route communale reliant le hameau de la Barrière à la route départementale RD1089, passe au nord du site. Le chemin d'accès au site se raccorde à cette route. La parcelle cadastrale n°100 est située à 100 m de la voie communale.

Le chemin partant depuis la parcelle en direction du hameau de la Barrière à l'est est situé hors emprise des travaux miniers souterrains. La circulation sur ce chemin est très limitée.

Ces voies de circulation étant situées en dehors de l'emprise des travaux miniers souterrains, **l'enjeu est « peu vulnérable ».**

## **12.6 - RESEAUX DE DISTRIBUTION**

Des réseaux de distribution (eau, électricité...) sont présents à l'est du site.

La ligne électrique aérienne haute tension HTA la plus proche est située environ 300 m à l'est du site. Le réseau aérien basse tension BT le plus proche est situé environ 150 m à l'est du site (source : ENEDIS).

Le réseau d'eau communal le plus proche est situé environ 150 m à l'est du site (source : Mairie de Darnets).

**L'enjeu est « non vulnérable ».**



Figure 49 : Carte de localisation des réseaux (source : DICT)

## **12.7 - CONSERVATION DE LA MINE ET DES MINES VOISINES**

Aucune autre exploitation minière n'est située à proximité du site.

**L'enjeu est « non vulnérable ».**

---

## **12.8 - PROTECTION DE LA NATURE ET DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU MILIEU ENVIRONNANT**

---

Aucun site présentant un intérêt général d'un point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque n'est présent à moins de 1 km du site de la Barrière (source : Atlas du Patrimoine).

Le site est inclus dans l'extrémité sud du Parc Naturel Régional de Millevaches en Limousin.

Il n'est inclus dans aucune zone d'inventaire, de protection ou de concertation. Le périmètre le plus proche est situé environ 440 m au sud-ouest du site. Il s'agit de la ZNIEFF de type 2 « Vallée de la Soudeillette ».

**L'enjeu est « peu vulnérable ».**

---

## **12.9 - RESSOURCE EN EAU**

---

### **12.9.1 - Eaux superficielles**

Aucune source, ruisseau ou point d'eau n'est recensé à l'aplomb ou en latéral immédiat des travaux miniers souterrains concernés par l'aléa effondrement localisé.

**L'enjeu est « peu vulnérable ».**

### **12.9.2 - Eaux souterraines**

Les aquifères sont de type fissural (circulation des eaux météoriques dans les interstices et anfractuosités de la zone altérée du granite, ainsi que plus profondément dans les zones fracturées, minéralisées et les vides résiduels laissés par les travaux miniers souterrains).

De par la nature granitique des terrains et la très faible épaisseur de leur couverture, la qualité des eaux souterraines est très dépendante des milieux de surface. Les eaux météoriques s'infiltrent directement dans la zone altérée et les fissures (nappe superficielle) en véhiculant les éventuels polluants de surface sans aucune filtration.

Les circulations d'eaux ont été modifiées dans la partie profonde du bâti granitique par le creusement des galeries et dépilages.

Aucun exutoire des eaux minières n'a été signalé et le niveau piézométrique a vraisemblablement retrouvé son niveau d'origine situé plusieurs mètres sous la surface. Les travaux miniers souterrains sont ennoyés et un effondrement localisé qui se produirait dans les travaux miniers (en grande partie remblayés compte tenu de la méthode d'exploitation) n'aurait aucune incidence sur la circulation des eaux souterraines.

Aucun captage servant à l'alimentation en eau potable n'est situé à proximité immédiate du site. Les captages AEP les plus proches sont les forages de « Lieuteret 1 et 2 », situés à l'est de Darnets. Leur périmètre de protection rapproché se situe 2 200 m à l'est du site de la Barrière (source : ARS Limousin).

**L'enjeu est « peu vulnérable ».**

### ***12.9.3 - Zones humides***

Aucune zone humide majeure et/ou remarquable n'est présente sur le site de la Barrière. Des zones humides sont toutefois répertoriées non loin du site (source : DREAL Limousin).

**L'enjeu est « non vulnérable ».**

## ***12.10 - PATRIMOINE ARCHEOLOGIQUE***

---

Aucun vestige archéologique n'a été mentionné dans un rayon de 1 km autour du site (source : Atlas du patrimoine).

**L'enjeu est « non vulnérable ».**

## ***12.11 - PATRIMOINE HISTORIQUE ET ARCHITECTURAL***

---

Aucun monument historique n'est présent à moins de 1 km du site (source : Atlas du patrimoine).

**L'enjeu est « non vulnérable ».**

## ***12.12 - INTERETS AGRICOLES***

---

Les prairies situées de part et d'autre du site servent au pâturage et au fourrage. Ces prairies sont « toujours en herbe à usage agricole » (source : Corine Land Cover 2012).

La parcelle est située dans ce zonage mais ne présente aucun intérêt agricole.

**L'enjeu est considéré comme « non vulnérable ».**

## 13 - ANALYSE DES RISQUES POUVANT PORTER ATTEINTE AUX INTERETS MENTIONNES A L'ARTICLE L.161-1 DU CODE MINIER

Le risque relatif au phénomène considéré est la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité.

L'étude du niveau de risque est limitée aux classes « faible », « moyen » et « fort ».

Niveau de risque		Vulnérabilité			
		Non vulnérable	Peu vulnérable	Vulnérable	Très vulnérable
Aléa	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible
	Moyen	Nul	Faible	Moyen	Moyen
	Fort	Nul	Faible	Moyen	Fort

Figure 50 : Classes d'intensité du niveau de risque

Le tableau suivant donne le résultat de l'évaluation des **risques miniers** identifiés sur le site de la Barrière :

ENJEUX	VULNERABILITE	ALEAS							
		Effondrement localisé						Apparition de zones détrempées	Emission de gaz (radon) et de rayonnements ionisants
		Apparition fontis galerie -14,90	Apparition fontis galerie -20	Apparition fontis galerie -40	Débouffrage du puits	Débouffrage du montage 2C2	Tassement des remblais		
		Moyen	Moyen	Nul	Fort	Fort	Moyen		
Santé et sécurité du personnel	Peu vulnérable	Faible	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible	Nul à faible	Faible
Sécurité et salubrité publiques	Très vulnérable	Moyen	Moyen	Nul	Fort	Fort	Moyen	Nul à moyen	Faible
Sécurité des personnes et des animaux	Très vulnérable	Moyen	Moyen	Nul	Fort	Fort	Moyen	Nul à moyen	Faible
Edifices publics et privés	Vulnérable	Moyen	Moyen	Nul	Moyen	Moyen	Moyen	Nul à moyen	Faible
Conservation des voies de communication	Peu vulnérable	Faible	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible	Nul à faible	Faible
Réseaux de distribution	Non vulnérable	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Conservation de la mine et des mines voisines	Non vulnérable	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Protection de la nature et des éléments constitutifs du milieu environnant	Peu vulnérable	Faible	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible	Nul à faible	Faible
Ressource en eau (eaux superficielles)	Peu vulnérable	Faible	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible	Nul à faible	Faible
Ressource en eau (eaux souterraines)	Peu vulnérable	Faible	Faible	Nul	Faible	Faible	Faible	Nul à faible	Faible
Ressource en eau (zones humides)	Non vulnérable	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Patrimoine archéologique	Non vulnérable	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Patrimoine historique et architectural	Non vulnérable	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
Intérêts agricoles	Non vulnérable	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul

Figure 51 : Tableau de synthèse de l'évaluation des risques miniers sur le site de la Barrière

## 14 - MESURES ET TRAVAUX ENVISAGES POUR ELIMINER, MAITRISER OU PREVENIR LES RISQUES IMPORTANTS

Pour rappel, si l'analyse des risques conclut à un risque faible, moyen ou fort, il convient d'entreprendre des travaux et/ou d'appliquer des mesures compensatoires :

- Des travaux de mise en sécurité pour que ce risque devienne nul,
- S'il n'est pas techniquement et/ou économiquement possible de réduire le risque à un niveau très faible ou nul, des mesures de surveillance doivent être mises en œuvre.

**Dans le cas du site de la Barrière, les risques sont « nuls » à « forts ». Pour rappel, le site de la Barrière est un site privé n'appartenant pas à la Compagnie Française de Mokta et présente des enjeux humains et matériels.**

### ***14.1 - EFFONDREMENT LOCALISE AU DROIT DES TRAVAUX MINIERES : APPARITION DE FONTIS AU NIVEAU DES GALERIES -14,90 OU -20***

La présence de vides résiduels dans les travaux miniers est supposée au niveau des galeries -14,90 et -20. Pour s'en assurer, il convient de procéder à des sondages de reconnaissance au droit des travaux miniers (au niveau des galeries supposées vides) afin de confirmer ou d'infirmer la présence de vides miniers et de caler précisément le plan de la mine.

Si des vides miniers sont avérés, il conviendra par exemple d'injecter du béton dans ces vides via les sondages de reconnaissance réalisés, et ce jusqu'à refus, afin d'éliminer définitivement tout risque de remontée de cloche et ainsi l'apparition de fontis en surface. D'autres solutions de réduction des risques seront étudiées suite à la campagne de reconnaissance.

Les sondages de reconnaissance permettront également de vérifier l'épaisseur d'altération des terrains, et du même coup de réajuster la carte des aléas.

### ***14.2 - TASSEMENT DES REMBLAIS DU PUIITS ET DU MONTAGE 2C2 : RISQUE DE DEBOURRAGE ET D'EFFONDREMENT LOCALISE***

Afin d'assurer la sécurité des personnes, des animaux et des biens, il convient de sécuriser par bouchons en béton les têtes des ouvrages débouchant au jour actuellement remblayés (puits et montage 2C2) dont les remblais font l'objet de tassements réguliers. Ces bouchons béton seront dimensionnés et réalisés dans les règles de l'art.

Pour le puits, d'une dimension de 4 x 2,5 m, le bouchon béton sera dimensionné suite à la campagne de sondages.

Il en sera de même pour la mise en sécurité du montage 2C2, d'une dimension de 3 x 1,5 m.

---

### **14.3 - APPARITION DE ZONES DETREMPEES**

---

En l'absence de données sur le niveau piézométrique au droit des travaux, l'intensité de cet aléa et du risque associé ne peut être quantifié avec certitude. En l'absence de vides dans les travaux miniers, ce risque est nul. En cas de présence de vides, ce risque est faible à moyen. Ce risque sera supprimé avec la réalisation des bouchons bétons.

### **14.4 - EMISSION DE GAZ DE MINE (RADON) ET DE RAYONNEMENTS IONISANTS**

---

Des travaux de recouvrement des zones radiologiquement marquées à l'aide de matériaux radiologiquement neutres sont envisagés afin de réduire les émissions de radon et de rayonnements ionisants.

Une couche de 20 à 50 cm de matériaux compactés sera mise en place sur les zones dont la radioactivité de surface dépasse 300 c/s. L'épaisseur de cette couche de matériaux sera fonction des résultats obtenus. Ces travaux seront suivis en temps réel pour contrôler la radioactivité de surface avant et après recouvrement.

Le site étant situé en contexte granitique, les émissions de radon et de rayonnements ionisants seront toujours présentes dans l'environnement, toutefois le risque passera de faible à très faible.

## **15 - ETUDE DES RISQUES IMPORTANTS SUBSISTANTS APRES MISE EN ŒUVRE DES MESURES PERMETTANT DE PRESERVER LES INTERETS A PROTEGER**

Après mise en œuvre des mesures proposées au chapitre précédent, aucun risque « important » résiduel ne subsistera sur le site de la Barrière.

Les mesures proposées permettront de supprimer ces risques.