

TRMC (EUROVIA)

DOSSIER D'ARRET DES TRAVAUX MINIERS
ETUDE DES ALEAS MINIERS

PIECE N°5
Etude des Aléas Miniers



Emetteur

Arcadis

Agence de Lyon

127 boulevard Stalingrad - CS 90030
69626 Villeurbanne Cedex
Tél. : +33 (0)4 37 42 85 85
lyon@arcadis.com

Réf affaire Emetteur
Chef de Projet
Auteur principal
Nombre total de pages

FR121.000221
Julie CISZAK
Mouhamed FALL
35 + 2 annexes

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A01	11/12/2009	Première diffusion	J. ROMEYER	B. MASMEJEAN	P. COLIN
A02	11/03/2011	Compléments et correction	F. GARCIN	F. GARCIN	S. PONCET
A03	01/07/2013	Compléments et correction	F. GARCIN	M. COLLOMP	M. COLLOMP
A04	26/09/2019	Version finale	D. TOLVAI S. MICHEL	M. PETRIGNET	B. CHEVROL
B01	10/12/2021	Dépôt du nouveau dossier	M. FALL M.FONTANEL	J. CISZAK	F. BARY

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».
Document protégé, propriété exclusive d'ARCADIS ESG.
Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

TABLE DES MATIERES

1 INTRODUCTION	5
1.1 Contenu du Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux Miniers	5
1.2 Cadre de la pièce	5
2 METHODOLOGIE ET OBJECTIFS	7
2.1 Définition de l'aléa minier	7
2.2 Principes de qualification de l'aléa	7
2.2.1 Qualification des classes d'intensité	7
2.2.2 Qualification des classes de prédisposition	8
2.2.3 Qualification des classes d'aléa	8
2.2.4 Zone d'influence	8
2.3 Présentation et identification des phénomènes redoutés	9
2.3.1 Mouvements de terrain	9
2.3.2 Perturbations hydrologiques et hydrogéologiques	10
2.3.3 Émission de gaz en lien avec l'exploitation minière	12
2.3.4 Échauffement des terrains sur dépôts miniers	12
2.4 Synthèse des aléas retenus et examinés dans le cadre du dossier	12
3 ÉVALUATION ET QUALIFICATION DES ALEAS	13
3.1 Aléas liés au mouvement de terrain	13
3.1.1 Aléa d'effondrement localisé	13
3.1.2 Aléa d'effondrement généralisé	20
3.1.3 Aléa de tassement	23
3.1.4 Aléa de mouvement de pente de matériaux rocheux	25
3.1.5 Aléa mouvement de pente de matériaux meubles	26
3.2 Aléas liés aux perturbations hydrologiques et hydrogéologiques	28
3.2.1 Aléa modification des émergences	28
3.2.2 Aléa inondations brutales	30
4 ZONAGE GLOBAL DE L'ALEA MINIER	32
4.1 Avant mise en sécurité	32
4.2 Après mise en sécurité	34

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 Coefficients de foisonnement préconisés par la Recommandation pour les Terrassements Routiers (R.T.R)
- Annexe 2 Méthode de détermination du diamètre du cratère en surface dans le scénario d'effondrement localisé d'une galerie

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Évaluation de l'aléa – Cas général (INERIS, 2018)	8
Tableau 2 : Classes d'intensité pour l'effondrement localisé (INERIS, 2018)	13
Tableau 3 : Estimation de l'intensité de l'aléa « effondrement localisé »	16
Tableau 4 : Classes de prédisposition de l'aléa « effondrement localisé » (INERIS, 2018)	17
Tableau 5 : Estimation de la prédisposition à l'aléa « effondrement localisé »	18
Tableau 6 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène d'effondrement localisé	19
Tableau 7 : Zone d'influence finale retenue pour la spatialisation de l'aléa d'effondrement localisé	20
Tableau 8 : Classes d'intensité pour l'effondrement généralisé (INERIS 2018)	20
Tableau 9 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène d'effondrement généralisé	23
Tableau 10 : Classes d'intensité pour le tassement (INERIS, 2018)	23
Tableau 11 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène de tassements	24
Tableau 12 : Classes d'intensité pour les mouvements de pentes rocheuses (INERIS, 2018)	25
Tableau 13 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène de mouvements de pentes rocheuses	26
Tableau 14 : Classes d'intensité pour le glissement de terrain ou mouvement de pente (INERIS, 2018)	27
Tableau 15 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène de mouvements de pente de matériaux meubles	28
Tableau 16 : Classes d'intensité pour la modification du régime des émergences (INERIS, 2018)	28
Tableau 17 : Évaluation de l'aléa de modification du régime des émergences	29
Tableau 18 : Classes d'intensité pour l'inondation brutale (INERIS, 2018)	30
Tableau 19 : Évaluation de l'aléa d'inondation brutale	31
Tableau 20 : Zonage global de l'aléa minier avant mise en sécurité (Vert : Aléa faible ; Orange : Aléa moyen ; Rouge : Aléa fort)	33
Tableau 21 : Zonage global de l'aléa minier après mise en sécurité (Vert : Aléa faible ; Orange : Aléa moyen ; Rouge : Aléa fort)	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Orifice 2, voûte vue depuis la salle principale en regardant vers l'est	22
--	----

1 INTRODUCTION

1.1 Contenu du Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux Miniers

Ce dossier d'Arrêt des Travaux Miniers est constitué des pièces suivantes :

- **Pièce n°1 : Présentation du dossier.**
- **Pièce n°2 : Dossier de plans** - Plans mentionnés au 1er alinéa du décret du 9 mai 1995. Ces plans sont informatisés (clef USB au dossier) et géoréférencés.
- **Pièce n°3 et Pièce n°3bis : Travaux d'exploitation et mémoire des travaux de mise en sécurité** - Mémoires exposant, outre les méthodes d'exploitation utilisées, les mesures déjà prises et celles envisagées pour l'application des dispositions de l'article L. 163 du code minier (anciennement deuxième alinéa de l'article 91) conformément à l'article 43 du chapitre V du décret n°2006-649 du 2 juin 2006.
- **Pièce n°4 : Bilan des effets sur les eaux** - Bilan, prévu par l'article L. 163-5 du code minier (anciennement quatrième alinéa de l'article 91), relatif aux effets, sur les eaux de toute nature, des travaux et de leur arrêt.
- **Pièce n°5 : Étude des aléas miniers** - Étude ayant pour objet de déterminer si des risques importants, notamment ceux mentionnés à l'article L. 174 du code minier (anciennement 93), subsisteront après le donné acte mentionné dans l'article L. 163-9 du code minier (anciennement neuvième alinéa de l'article 91).
- **Pièce n°6 : Récapitulatif des installations de surface** - Récapitulatif des installations de surface - Récapitulatif, d'une part, des installations dont l'exploitation minière a cessé avant que leur arrêt ne soit soumis à procédure, d'autre part, des travaux et installations ayant précédemment fait l'objet de la procédure d'arrêt prévue par le code minier.
- **Pièce n°7 : Lettre d'information concernant la station hydraulique de sécurité** - Lettre d'information mentionné aux articles L163 (anciennement article 92) du code minier et L174 (anciennement article 93) du code minier conformément à l'AM du 23 août 2005.
- **Pièce n°8 : Historique administratif et industriel.**
- **Pièce n°9 : Liste des archives et base de données.**

1.2 Cadre de la pièce

La pièce n°5 du dossier d'arrêt définitif des travaux miniers de la concession de Seyssel (01) vise à apprécier l'aléa minier actuel et résiduel.

L'étude de l'aléa minier a pour objet de : « déterminer si des aléas importants, notamment ceux mentionnés à l'article L.174-1 (ex-article 93) du nouveau code minier, subsisteront après le donner acte mentionné au neuvième alinéa de l'article L163-2 (ex-article 91) du nouveau code minier. Dans le cas où l'étude révèle la persistance de tels risques, une note complémentaire précise les mesures de surveillance ou de prévention, le descriptif et l'estimatif des moyens humains et matériels correspondants ainsi que, s'il y a lieu, la liste des servitudes nécessaires à leur mise en œuvre. ».

Les risques mentionnés dans l'article L.174-1 du nouveau code minier concernent en particulier :

- les risques de fontis, d'affaissement ou d'effondrement ;
- les risques d'inondation ;
- les risques d'émanation de gaz dangereux ou nocifs ;
- les risques radiologiques.

Cette étude est réalisée conformément à l'article 43 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockages souterrains et à la police des mines et des stockages souterrains.

Trois documents ont ainsi été établis :

- le présent rapport, décrivant les paramètres d'appréciation de l'aléa minier ainsi que les hypothèses et justifications retenues ;
- le plan présentant le zonage global retenu de l'aléa minier avant travaux, joint en annexe de la pièce n°2 ;
- le plan présentant le zonage résiduel retenu de l'aléa minier après travaux, joint en annexe de la pièce n°2 .

Les aléas miniers ont été appréciés et déterminés de la manière suivante :

- définition de l'aléa et évaluation du degré de l'aléa ;
- zonage de l'aléa ;
- zonage des incertitudes liées à la représentation cartographique et la précision de la spatialisation des ouvrages.

Les travaux miniers concernés par ce DADTM vont faire l'objet de mesures de mise en sécurité. L'estimation des aléas résiduels après travaux dépend directement de la réalisation des mesures prévues qui sont détaillées dans la pièce n°3 bis.

2 METHODOLOGIE ET OBJECTIFS

2.1 Définition de l'aléa minier

L'aléa est classiquement défini comme la **probabilité d'occurrence** d'un phénomène **d'intensité** donnée, sur une **période de référence** donnée et pour une **zone géographique** donnée.

L'**intensité** du phénomène correspond à l'ampleur des désordres, séquelles ou nuisances susceptibles de résulter du phénomène redouté. Cette notion intègre à la fois une notion de hiérarchisation des grandeurs caractérisant les conséquences des événements redoutés (taille et profondeur d'un cratère, hauteur de tranche d'eau, nature et teneur d'une émission de gaz ou de substances toxiques...) mais également leur potentiel de gravité sur les personnes, les biens et l'usage du sol susceptible de caractériser potentiellement le site à terme (possibilité de faire des victimes ou des dégâts, existence et/ou coût de parades de prévention...).

La notion de **probabilité d'occurrence**, qui traduit pour sa part la sensibilité que présente un site à être affecté par l'un ou l'autre des phénomènes analysés, est généralement moins aisée à appréhender et à quantifier que celle d'intensité. Quelle que soit la nature des événements redoutés, la complexité des mécanismes, la nature hétérogène du milieu naturel, le caractère très partiel des informations disponibles et le fait que de nombreux désordres, séquelles ou nuisances ne soient pas répétitifs expliquent qu'il est généralement impossible de raisonner sur la base de probabilités quantitatives (x % de risque de développement d'un désordre). On privilégiera donc une classification qualitative caractérisant une prédisposition du site à subir tel ou tel type de désordres ou nuisances. C'est donc cette notion de **prédisposition** (au détriment de la probabilité d'occurrence) qui sera retenue dans la suite du document. L'évaluation de cette prédisposition dépend de la combinaison d'un certain nombre de facteurs favorables ou défavorables à l'initiation et au développement des mécanismes pressentis.

Dans le cas de l'exploitation minière, contrairement à certains phénomènes naturels, tels que les séismes ou les inondations pour lesquels on peut estimer des périodes de retour, les mouvements de terrains, et en particulier les effondrements de cavités souterraines entraînant un cratère en surface, sont peu ou pas probabilisables. La notion de prédisposition est alors retenue en lieu et place de la probabilité. Elle vise à caractériser la sensibilité d'un site à être affecté par l'un ou l'autre des phénomènes redoutés identifiés.

L'aléa est ainsi évalué en croisant l'intensité d'un phénomène redouté avec la prédisposition du site étudié à ce phénomène.

2.2 Principes de qualification de l'aléa

2.2.1 Qualification des classes d'intensité

Chacun des phénomènes redoutés décrits précédemment est caractérisé par son intensité. Le guide de l'INERIS 2018¹ s'est attaché à identifier les paramètres qui définissent l'intensité d'un phénomène donné. Cette intensité doit refléter l'ampleur des répercussions attendues en surface en cas de déclenchement d'un événement redouté, mais également le potentiel de danger que constitue le phénomène vis-à-vis des biens et des personnes.

Trois classes d'intensité sont ainsi définies : **Légère, Modérée et Élevée.**

Remarque : la durée du phénomène n'a pas été considérée comme déterminante pour la qualification de son intensité. En effet, chaque type de phénomène redouté est caractérisé par une durée intrinsèque

¹INERIS 2018, Evaluation des aléas miniers. INERIS 17-164640-01944A

directement liée à sa nature (ex : un affaissement est étalé dans le temps tandis qu'un effondrement est généralement rapide).

2.2.2 Qualification des classes de prédisposition

La prédisposition d'un site à l'apparition de désordres ou nuisances est évaluée en fonction de paramètres caractérisant l'environnement du secteur considéré et la technique d'exploitation utilisée, autant de facteurs exprimant la « sensibilité » d'un site. La détermination de la prédisposition s'appuie, en premier lieu, sur le retour d'expérience, à savoir l'existence passée, sur le site ou sur un site voisin similaire, de désordres ou nuisances du même ordre.

Trois classes de prédisposition sont ainsi définies : **Peu sensible, Sensible et Très sensible.**

2.2.3 Qualification des classes d'aléa

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.

La qualification de l'aléa a pour objectif de hiérarchiser les niveaux d'aléa. Le terme « aléa fort » signifie que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de manifestations importantes en surface que les zones « d'aléa moyen » ou « aléa faible ».

La matrice de synthèse est présentée dans le tableau ci-après :

Prédisposition \ Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Aléa faible	Aléa faible	Aléa moyen
Modérée	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
Élevée	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa fort

Tableau 1 : Évaluation de l'aléa – Cas général (INERIS, 2018)

L'aléa minier ne préjuge pas des risques ni des responsabilités. Sa valeur est technique. Il sert d'outil d'aide à la décision mais n'a pas pour objet de préciser la constructibilité ou l'aménagement des territoires communaux.

2.2.4 Zone d'influence

« La cartographie de l'aléa englobe l'ensemble des terrains de surface concernés par les effets possibles des phénomènes résultant des activités minières. Il est fondamental de prendre en compte l'extension latérale possible des désordres ou nuisances. » (INERIS, 2018).

On appellera donc « zone d'influence » la zone ou l'aire, comprenant l'extension possible des effets en surface provoqués par l'exploitation minière. Par exemple, dans le cas de la mine de Seyssel, ces effets de surface peuvent se traduire par l'apparition de résurgences, la modification ou le chamboulement de l'état topographique initial des terrains ou encore par la modification des caractéristiques physiques et chimiques des différents milieux (sol, eau et sédiment).

La zone d'influence doit aussi englober la précision de localisation spatiale des travaux miniers. Sur l'ensemble du dossier, il a notamment été retenu une incertitude prenant en compte **la précision de la représentation cartographique** (support cartographique BD Ortho de l'IGN) de **3 mètres**.

La zone d'influence est déterminée au cas par cas selon le type d'aléa.

2.3 Présentation et identification des phénomènes redoutés

Cette partie a pour but de rappeler les phénomènes redoutés décrits dans le guide méthodologique de l'INERIS, 2018 afin de sélectionner les phénomènes les plus pertinents au regard du contexte du site de Seyssel.

Les impacts induits par les activités minières peuvent être de plusieurs types. Dans les paragraphes suivants, il sera présenté à la suite, un descriptif des phénomènes redoutés, et une analyse au cas par cas, de leur pertinence vis-à-vis du contexte minier de Seyssel afin d'en sélectionner ceux qui feront l'objet d'un examen.

2.3.1 Mouvements de terrain

Les différents phénomènes liés au mouvement de terrain sont présentés ci-après :

- **Mouvement de pentes rocheuses** : il s'agit d'un mouvement de pente soudain au cours duquel des masses rocheuses se détachent d'une paroi généralement raide pour aller s'écraser au pied du front. Ce type de phénomène concerne donc essentiellement les fronts de fosses à ciel ouvert, creusés dans les massifs de roches dures avec de forts angles de talus.
→ L'aléa écoulement rocheux a été retenu sur les travaux à ciel ouvert levés sur site lors des investigations terrains ou évoqués dans des plans ou documents d'archives.
- **Mouvement de pente de matériaux meubles** : Il s'agit de phénomènes généralement lents et mettant en jeu des volumes de matériau restreints (quelques dizaines de m³). Ils prennent principalement la forme de glissements pelliculaires ou de rigoles de ravinement, parfois profondes, avec pour conséquence l'épandage de matériau en pied. Le développement de mouvements superficiels s'observe préférentiellement le long de flancs peu végétalisés, contenant une proportion importante de particules fines. L'existence de grandes surfaces planes faiblement inclinées vers le talus aval ou, à l'inverse, de talus avals trop raides favorisent également le développement de glissements pelliculaires ou d'érosion régressive des flancs.
→ L'aléa mouvement de pente a été retenu sur l'ensemble des trois dépôts répertoriés sur la concession (2 dépôts de terre du site du Paradis et 1 dépôt au droit de la mine du Château).
- **Tassement** : Le tassement est lié au réarrangement des terrains de surface, du fait de la présence de travaux miniers souterrains, d'ouvrages de dépôt, de découvertes ou ouvrages miniers remblayés, ou encore du fait de perturbations hydrogéologiques liées à l'ancienne activité minière. Il consiste en une diminution du volume de vides au sein de ces matériaux et se traduit par des mouvements de faible amplitude en surface.
→ L'aléa de tassement a été retenu au niveau des 3 dépôts de la concession et au niveau de l'exploitation à ciel ouvert indiquée sur la carte du Paradis, du fait que celle-ci n'a pas montré la présence de fronts rocheux lors des investigations de terrain, laissant supposer un possible remblaiement.
- **Affaissement progressif** : Ce phénomène se traduit par un réajustement des terrains de surface induit par l'éboulement de cavités souterraines résultant de l'extraction de minerai. Les désordres, dont le caractère est généralement lent, progressif et souple, prennent la forme d'une dépression topographique, sans rupture cassante importante, présentant une allure de cuvette. L'amplitude de l'affaissement est directement proportionnelle à l'ouverture des travaux souterrains. Le coefficient de proportionnalité dépend notamment de la profondeur des travaux et de la nature des méthodes d'exploitation et de traitement des vides (foudroyage, remblayage...). Dans la majorité des cas, les amplitudes maximales observées au centre de la cuvette, durant ou après l'exploitation, sont d'ordre décimétrique à métrique.

→ **L'aléa d'affaissement progressif sur la concession de Seyssel n'a pas été retenu** car bien que ce type de désordre soit susceptible d'apparaître pour des configurations d'exploitation par chambres et piliers abandonnés, il requiert des conditions particulières en particulier la présence de roches de couverture ductiles, ce qui n'est pas le cas au droit de la concession de Seyssel pour lequel, le recouvrement est constitué uniquement de bancs raides de calcaires à faible profondeur.

- **Affaissement cassant** : Ce phénomène s'exprime par une rupture du toit par cisaillement les longs des appuis, avec une possible propagation jusqu'en surface et une descente en masse des terrains de recouvrement.

→ **L'aléa d'affaissement cassant sur la concession de Seyssel n'a pas été retenu**, bien que ce soit un phénomène possible pour des exploitations partielles par chambres et piliers avec un recouvrement compétent à l'aplomb des travaux miniers, car il requiert nécessairement en plus, que les travaux miniers soient situés à de grandes profondeurs (plusieurs centaines de mètres) ce qui n'est pas le cas pour la concession de Seyssel.

- **Effondrement localisé** : Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètre. La profondeur du cratère dépend principalement de la profondeur et des dimensions des vides miniers à l'origine. En fonction du mécanisme initiateur du désordre et de la nature des terrains de sub-surface, les parois du cratère peuvent être sub-verticales ou inclinées, donnant ainsi naissance à une forme caractéristique d'entonnoir.

→ **L'aléa d'effondrement localisé a été retenu** au niveau de l'ensemble des orifices miniers (c'est-à-dire l'ensemble des exploitations souterraines, quelle que soit leur méthode d'exploitation).

- **Effondrement généralisé** : Un effondrement généralisé ou en masse se manifeste par la rupture rapide (quelques secondes ou quelques minutes) de tout ou d'une partie des terrains. Dans une configuration d'exploitation par chambres et piliers, ce phénomène s'exprime par la rupture des piliers entraînant une reprise temporaire de la charge par un ou plusieurs bancs raides au sein du recouvrement. La rupture soudaine du ou des bancs raides peut découler d'un cisaillement le long des bords fermes de l'exploitation.

→ **L'aléa d'effondrement généralisé a été retenu** pour les orifices 2 et 16 de la concession de Seyssel, compte tenu de leurs méthodes d'exploitation par chambre et piliers et de leurs dimensions.

Compte-tenu des méthodes d'exploitation et des connaissances historiques de la concession de Seyssel, les phénomènes retenus et relatifs aux mouvements de terrain sont les suivants :

- **le mouvement de pentes rocheuses ;**
- **le mouvement de pente de matériaux meubles ;**
- **le tassement ;**
- **l'effondrement localisé ;**
- **l'effondrement généralisé.**

2.3.2 Perturbations hydrologiques et hydrogéologiques

Les différents phénomènes liés aux perturbations hydrologiques et hydrogéologiques d'origine minière sont présentés ci-après :

- **Modification des émergences** : Il s'agit d'un phénomène par lequel les exutoires des nappes d'eau souterraine, qu'ils soient naturels (sources, résurgences) ou artificiels (galeries débouchant au jour), peuvent connaître, du fait de la modification engendrée par l'exploitation minière, des changements comme l'apparition de nouvelles émergences.
→ **L'aléa modification des émergences a été retenu** sur la concession de Seyssel compte tenu de la présence d'ouvrages débouchant au jour (orifices) susceptibles de constituer des drains préférentiels pour les écoulements.

- **Inondations brutales** : il s'agit d'un phénomène résultant de l'émission soudaine d'un très fort débit d'eau ou de boues par un orifice en liaison avec un réservoir minier ennoyé. Selon le débit et le volume rejeté, l'effet peut être plus ou moins dévastateur et aller d'une simple crue dans le lit d'une rivière à une vague déferlante au fort pouvoir destructeur.
→ **L'aléa inondation brutale a été retenu** sur l'ensemble des travaux miniers présentant une partie ennoyée. En effet, ces travaux sont susceptibles de provoquer une « vidange brutale » initiée par un effondrement en masse, chassant un certain volume d'eau en dehors des travaux miniers. Les orifices concernés sont l'orifice 2 de la mine du Château, les orifices 17 et 18 du site des Lades et les orifices 21 et 22 du site des Châtaigniers.

- **Inondation des points bas topographiques** : il s'agit d'un phénomène résultant de la remontée de la nappe suite à l'arrêt des pompages d'exhaure et exprimé par l'établissement des niveaux d'eau au-dessus du niveau topographique, temporairement ou durablement.
→ **L'aléa inondation des points bas topographiques n'a pas été retenu** sur la concession de Seyssel compte tenu du fait :
 - qu'aucun pompage, ayant pour but de rabattement de nappe, n'a eu lieu pendant l'exploitation minière et l'arrêt des travaux miniers n'a pas engendré de remontée de nappe ;
 - qu'il est noté l'absence d'ouvrages profonds susceptibles de subir une éventuelle remontée de nappe.

- **Modification du régime des cours d'eau** : il s'agit d'un phénomène découlant de l'arrêt des pompages d'exhaure à la fin de l'exploitation et générant selon les cas, une diminution du débit d'étiage ou un accroissement du débit moyen des cours d'eau et des débits de crue.
→ **L'aléa modification du régime des cours d'eau n'a pas été retenu** sur la concession de Seyssel étant donné :
 - que l'arrêt des travaux miniers n'a pas engendré de remontée de nappe et qu'aucun pompage n'a été opéré sur le site ;
 - que les travaux miniers sont situés au-dessus du lit majeur du Rhône et que leur affaissement n'entraînerait pas de modification de la topographie de ce dernier ;
 - que l'exploitation et son arrêt n'ont pas amené à concentrer le drainage en un nombre réduit de points de rejet ;
 - et que le seul aménagement qui était susceptible de gêner la circulation des eaux et se trouvant dans le lit majeur, était l'usine de Pyrimont, et cette dernière a été déconstruite.

Compte-tenu des méthodes d'exploitation et des connaissances historiques de la concession de Seyssel, les phénomènes retenus et relatifs aux perturbations hydrologiques et hydrogéologiques sont les suivants :

- **la modification du régime des émergences ;**
- **et les inondations brutales.**

2.3.3 Émission de gaz en lien avec l'exploitation minière

Le phénomène redouté correspond à la remontée en surface de gaz en lien avec l'exploitation minière. S'il est vrai que la concession de Seyssel présente des orifices au jour donnant accès à des vides souterrains, ces derniers sont relativement restreints (< 10 000 m³) et ne constituent pas de potentiels réservoirs d'accumulation de gaz susceptibles d'émettre des émissions significatives, ceci d'autant plus que la nature du minerai extrait, pour rappel exclusivement du calcaire bitumineux, ne permet pas d'envisager la production de ce type de gaz dangereux.

→ **L'aléa émission de gaz en lien avec l'exploitation minière n'a donc pas été retenu.**

En revanche, pour la mémoire minière il convient de souligner qu'étant donné que les orifices miniers de la concession de Seyssel ne sont pas ventilés, la présence d'air désoxygéné au sein des travaux miniers souterrains, peut entraîner l'apparition d'une atmosphère confinée.

2.3.4 Échauffement des terrains sur dépôts miniers

L'échauffement des terrains sur dépôts miniers est lié à la nature du gisement suffisamment riche en éléments carbonés solides (lignite, charbon, schistes bitumineux, tourbes). Le contexte géologique du gisement (essentiellement calcaire) fait qu'il n'y a pas de risque d'échauffement des terrains.

→ **L'aléa échauffement des terrains sur dépôts miniers en lien avec l'exploitation minière n'a donc pas été retenu.**

2.4 Synthèse des aléas retenus et examinés dans le cadre du dossier

Les aléas retenus sur la base de leur pertinence par rapport au contexte minier de la concession de Seyssel et qui font l'objet d'une évaluation décrite dans le paragraphe 3 sont :

- les aléas mouvements de terrain :
 - effondrement localisé ;
 - effondrement généralisé ;
 - tassement ;
 - mouvement de pente rocheuses ;
 - mouvement de pentes de matériaux meubles.
- les aléas liés aux perturbations hydrologiques et hydrogéologiques :
 - la modification des émergences ;
 - les inondations brutales.

3 ÉVALUATION ET QUALIFICATION DES ALEAS

3.1 Aléas liés au mouvement de terrain

3.1.1 Aléa d'effondrement localisé

Ce phénomène se traduit par l'apparition rapide en surface d'un fontis d'extension métrique à plurimétrique et d'une profondeur parfois métrique. Les désordres observés en surface ont une forme caractéristique d'entonnoir. Les caractéristiques du fontis apparu dépendent principalement de la profondeur et de la dimension des travaux miniers souterrains.

3.1.1.1 Qualification de l'intensité de l'effondrement localisé

L'intensité de l'aléa d'effondrement localisé est déterminée en étudiant le diamètre de l'effondrement qui apparaîtrait en surface en cas d'effondrement localisé et qui influencerait sur les conséquences prévisibles, sur la sécurité des personnes et des biens présents dans la zone d'influence du désordre. Celui-ci correspond au diamètre maximal dans sa configuration stabilisée sous forme d'entonnoir.

Les principaux facteurs susceptibles d'influer sur le diamètre de l'effondrement sont :

- la dimension des vides résiduels au sein des travaux souterrains ;
- l'épaisseur et la nature des terrains constituant le recouvrement.

Les valeurs seuils, pour classifier l'intensité de l'aléa d'effondrement localisé sont reprises dans le Tableau 2.

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement (m)
<i>Très limitée</i>	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (profondeur centimétrique)
<i>Limitée</i>	$0 < \emptyset < 5$
<i>Modérée</i>	$5 < \emptyset < 10$
<i>Élevée</i>	$\emptyset > 10$

Tableau 2 : Classes d'intensité pour l'effondrement localisé (INERIS, 2018)

De façon générale, lors de l'effondrement d'une galerie suite à une rupture mécanique du toit, le vide remonte progressivement (vitesse variable dépendant des terrains de recouvrement) à l'aplomb de la galerie, sous la forme d'une cheminée. Lorsque le fontis a migré en surface, un cratère de forme circulaire se forme. Ses dimensions dépendent de la nature des terrains de recouvrement et du vide disponible sous terre.

Appliqué à la concession de Seyssel, un effondrement localisé peut être la conséquence soit de la rupture du toit d'une galerie, soit la rupture de pilier (s) isolé (s). Dans les deux situations, la détermination du diamètre du cratère qui apparaîtrait en surface a été estimée à partir des hypothèses suivantes :

- **le foisonnement des terrains de recouvrement est égal à 1,5**, cette valeur correspond à une moyenne des coefficients de foisonnement définis par la RTR (Recommandation pour les Terrassements Routiers) pour des calcaires (Annexe 1), faciès constitutif des terrains de recouvrement des galeries de la concession de Seyssel ;
- **les terrains effondrés comblent partiellement la galerie effondrée. La géométrie de ce comblement est associée à une pyramide tronquée avec un angle de pente des**

- talus égal à 36°**, la valeur de 36° étant documentée dans la bibliographie pour le cas des calcaires ;
- **la propagation strictement verticale du vide généré**, il est considéré l'absence de tout déplacement latéral ou vertical (en X ou Y) du fontis par rapport à la verticale de la galerie, lors de sa remontée ;
 - **la cheminée d'effondrement génère un vide en surface sous une géométrie de pyramide tronquée, avec un talutage à 36°**, il est considéré que l'effondrement se présente sous la forme d'une pyramide tronquée, formant une pente talutée à 36° par rapport au terrain naturel et une base horizontale au moins égale à la largeur de la galerie ;
 - **une épaisseur des terrains de recouvrement la plus majorante pour chaque galerie**, il a été retenu, pour chaque galerie, une épaisseur des terrains de recouvrement déterminée au cas par cas soit en fonction du relevé altimétrique (différence d'altitude entre le terrain naturel (TN) et la voute) pour l'essentiel des galeries, ou à partir des informations contextuelles d'époques recueillies auprès des archives en particulier pour les galeries de Paradis (orifice 25) et de Morat (orifice 26) ;
 - **une longueur d'effondrement de 1 m** pour les galeries, hypothèse majorante ;
 - **un rayon** d'influence fixé à 3 m dans le cas d'un mécanisme d'effondrement initié par la rupture isolée d'un pilier. Spécifiquement pour les orifices 2 et 16, constitués de chambres et de piliers, il est considéré que la rupture d'un pilier exercerait une influence de 3 m sur les terrains en périphérie du pilier. Ce rayon correspond à la distance médiane entre deux piliers et sera retenu comme équivalente à la largeur de galerie dans le cas d'un pilier effondré.

Les caractéristiques des terrains et les hypothèses précédentes retenues permettent d'obtenir les résultats présentés dans le Tableau 3. L'ensemble des calculs effectués est détaillé en Annexe 2. Il est rappelé que l'orifice 23 n'est pas concerné par le dossier du fait qu'il n'ait pas d'origine minière mais une fonction purement ferroviaire.

Pour les cas de figure où le diamètre de cratère estimé est nul, il est considéré que l'aléa d'effondrement localisé est négligeable. En effet, un diamètre de cratère nul en surface équivaut à considérer qu'on est en situation d'auto-comblement. En d'autres termes, même s'il y a un vide créé, celui-ci ne remonte pas en surface (les terrains de recouvrement foisonnés ont été assez suffisants pour combler le vide généré et empêcher sa migration).

Site	Orifice	Largeur galerie	Hauteur galerie	Longueur d'effondrement (m)	Hauteur de terrain de recouvrement (m)	Diamètre cratère d'effondrement (m)	Classes de diamètres par rapport aux seuils INERIS de 2018	Intensité pour l'effondrement localisé
Pyrimont (Site 1)	Orifice 1	1,5	1,27	1	1	4	Ø < 5 m	Limitée
Mine du Château (Site 2)	Orifice 2 : Chambre principale avec voute supportée par des piliers	3,5	4	1	3,18	20,9	Ø > 10 m	Élevée
	Orifice 2 hors chambre principale	3	5	1	12,24	21,2	Ø > 10 m	Élevée
	Orifice 3	3,8	1,45	1	0,72	7,3	5 m < Ø < 10 m	Modérée
	Orifice 4	3,4	0,57	1	2,68	Auto-comblé	0	-
	Orifice 5	2,3	1,46	1	3,11	3,8	Ø < 5 m	Limitée
	Orifice 6	3,2	1,3	1	4,12	Auto-comblé	0	-
	Orifice 7	10,2	1,3	1	5,3	Auto-comblé	0	-
En Chalavray (Site 3)	Orifice 8	8,2	1	1	3	Auto-comblé	0	-
	Orifice 9	1,9	2,82	1	0,27	2	Ø < 5 m	Limitée
	Orifice 10	3,5	1,15	1	3,83	Auto-comblé	0	-
	Orifice 11	2,3	0,35	1	4,7	Auto-comblé	0	-
	Orifice 12	2,1	1,54	1	3	4	Ø < 5 m	Limitée
	Orifice 13	4,2	0,88	1	4,35	Auto-comblé	0	-
	Orifice 14	5,7	1,7	1	2,27	8,9	5 m < Ø < 10 m	Modérée
	Orifice 15	3,4	1,11	1	2,3	4,2	Ø < 5 m	Limitée

Site	Orifice	Largeur galerie	Hauteur galerie	Longueur d'effondrement (m)	Hauteur de terrain de recouvrement (m)	Diamètre cratère d'effondrement (m)	Classes de diamètres par rapport aux seuils INERIS de 2018	Intensité pour l'effondrement localisé
Les Lades (Site 4)	Orifice 16	3	1,5	1	3,5	4,3	Ø < 5 m	Limitée
	Orifice 17	2,1	2	1	4,45	4,9	Ø < 5 m	Limitée
	Orifice 18	2,5	0,93	1	1,86	3,1	Ø < 5 m	Limitée
Vézéronce (Site 5)	Orifice 19	3	1	1	7	Auto-comblé	0	-
	Orifice 20	2,5	1	1	7	Auto-comblé	0	-
Châtaigner (Site 6)	Orifice 21	7	0,74	1	2	Auto-comblé	0	-
	Orifice 22	7	0,34	1	2,69	Auto-comblé	0	-
Chantemerle (Site 8)	Orifice 24	Inconnue (galerie déjà éboulée à son entrée)	Inconnue	1	Inconnue	Galerie actuellement comblée sans vide en surface. Conservé pour la mémoire minière	La galerie ayant déjà été éboulée/effondrée sans vide apparent en surface, cela permet de considérer en condition majorante un diamètre en deçà de 5 m	Très limitée
Paradis (Site 9)	Orifice 25	2,5	2,5	1	12	Auto-comblé	0	-
Morat (Site 10)	Orifice 26	2,5	2,5	1	12	Auto-comblé	0	-

- : Absence d'aléa

Tableau 3 : Estimation de l'intensité de l'aléa « effondrement localisé »

3.1.1.2 Qualification de la prédisposition à l'effondrement localisé

Les critères retenus pour déterminer la prédisposition de l'aléa d'effondrement localisé sont les suivants :

Prédisposition d'une zone à la manifestation d'un effondrement localisé	Éléments caractéristiques
Très sensible	<ul style="list-style-type: none"> - le phénomène s'est déjà produit à plusieurs reprises sur la zone concernée ; - et les conditions sont remplies pour que le phénomène se produise plusieurs fois sur la zone concernée à l'échelle de vies humaines (certitude sur l'existence de travaux, connaissance suffisante des caractéristiques permettant de démontrer la réalisation du phénomène, lithologie connue et favorable au développement du phénomène) ; - ou la zone est connue pour présenter des conditions dégradées par rapport à une situation de prédisposition « sensible » établie ; - ou la zone est connue pour présenter des facteurs aggravants pouvant favoriser le phénomène.
Sensible	<ul style="list-style-type: none"> - un phénomène similaire s'est déjà produit sur la zone concernée ou le phénomène s'est déjà produit sur un site similaire à la zone concernée ; - et les conditions pour que le phénomène se produise sur la zone concernée ne sont pas remplies avec autant de certitude que dans le cas « Très sensible » (par exemple : manque de connaissance sur les dimensions des travaux dont l'existence est par ailleurs avérée, sur l'état de remblaiement, sur la lithologie).
Peu sensible	<ul style="list-style-type: none"> - l'occurrence du phénomène sur la zone concernée est peu probable mais le retour d'expérience est insuffisant pour pouvoir l'écartier complètement (cas de travaux miniers avérés mais sans aucun phénomène similaire répertorié) ; - et aucun facteur aggravant susceptible de favoriser le phénomène n'est connu.
Très peu sensible	<ul style="list-style-type: none"> - lithologie particulièrement favorable pour stopper la remontée d'un vide (bancs résistants massifs et épais) ; - ou la présence de travaux est suspectée ou non connue avec certitude (zone proche des affleurements présentant des caractéristiques géologiques favorables à la réalisation de travaux miniers par exemple, déductions à partir d'informations...) ; - ou la présence de travaux est connue mais leur localisation est très mauvaise (la surface des travaux est faible par rapport à la surface d'incertitude) ; - et l'occurrence du phénomène sur la zone concernée est peu probable mais le retour d'expérience est insuffisant pour pouvoir l'écartier complètement.

Tableau 4 : Classes de prédisposition de l'aléa « effondrement localisé » (INERIS, 2018)

Appliqué à la concession de Seyssel, les classes de prédisposition à l'aléa d'effondrement localisé d'une galerie reposent essentiellement sur les observations effectuées sur l'état des orifices, des galeries, la présence de zones de faiblesse (fracturation, plans de failles, écaillage etc.) et sur l'existence de facteurs aggravants en particulier la mise en charge hydraulique (zone de résurgences) et l'hygrométrie.

Le Tableau 5 présente, pour chaque orifice, l'ensemble des constatations ayant permis de déterminer le niveau de prédisposition retenu. Exception est faite pour les orifices 4, 6, 7, 8 ; 10, 11, 13, 19, 20, 21 et 22 qui ne sont pas pris en compte en raison de leur auto-comblement dans le cadre d'un effondrement localisé.

Site	Orifice	Observations et facteurs aggravants	Prédisposition retenue pour l'aléa « effondrement localisé »
Pyrimont (Site 1)	Orifice 1	Fracturation en voute Eboulements ponctuels	Peu sensible
Mine du Château (Site 2)	Orifice 2	Altération du conglomérat, fissuration bitumineuse Venues d'eau	Très sensible
	Orifice 3	Fracturation sur les façades murales	Peu sensible
	Orifice 5	Entrées éboulées	
En Chalavray (Site 3)	Orifice 9	Fracturation Eboulements locaux Les éboulements locaux ne permettent pas de justifier que les conditions de réalisation d'un effondrement sont strictement remplies, mais la relative proximité (une dizaine de mètres) de cet orifice avec l'orifice 8 (au droit duquel un fontis s'est déjà produit sans qu'un vide ne soit généré en surface) lui confère un niveau de prédisposition sensible	Sensible
	Orifice 12	Fracturation en voute et éboulement locaux en entrée de cavité (blocs épars)	Sensible
	Orifice 14		
	Orifice 15		
Les Lades (Site 4)	Orifice 16	Fracturation en voute Piédroit fracturé Fissuration bitumineuse Venues d'eau Présence de murs de tout venant probablement en confortement aux éventuels piliers résiduels (l'existence des piliers et leur état n'est pas déterminée en raison de ces murs de tout venant) Ecrolements ponctuels des murs de stériles Chute d'écaillies Présence d'humidité exprimée par la présence de racines Venues d'eau minimes mais historiquement notées (10 cm de profondeur)	Très sensible
	Orifice 17	Fractures fermées Venues d'eau	Très sensible
	Orifice 18	Témoignage d'effondrement localisé en entrée Fortes venues d'eau	Très sensible
Chantemerle (Site 8)	Orifice 24	Orifice a priori déjà effondré Pas de vide apparent en surface (auto-comblement ?) Galerie dont l'existence n'a pas pu être confirmée	Sensible

Tableau 5 : Estimation de la prédisposition à l'aléa « effondrement localisé »

3.1.1.3 Qualification de l'aléa effondrement localisé

Le Tableau 6 suivant, reprend synthétiquement les classes d'intensité et de prédisposition évaluées pour chaque orifice et présente le niveau équivalent de l'aléa d'effondrement localisé retenu.

Prédisposition Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Orifice 1 Orifice 5	Orifice 9 Orifice 12 Orifice 15 Orifice 24	Orifice 16 Orifice 17 Orifice 18
Modérée	Orifice 3	Orifice 14	
Élevée			Orifice 2

Tableau 6 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène d'effondrement localisé

3.1.1.4 Qualification de la zone d'influence de l'aléa d'effondrement localisé

La zone d'influence de l'aléa d'effondrement localisé est spatialisée en fonction du **diamètre du cratère en surface**, évalué, pour rappel en conditions majorantes, **cumulé** :

- **d'une marge périphérique de 5 m** pour les orifices et galeries repérés et levés sur le terrain ; cette marge tient compte de l'incertitude liée à la levée des coordonnées et à la représentation cartographique (support cartographique BD Ortho de l'IGN vecteur de 3 m d'incertitude) ;
- **d'une marge périphérique de 13 m** pour l'orifice 25, décomposée en 10 m d'incertitude intrinsèque liés au géoréférencement du plan du Paradis et 3 m liés à la BD Ortho de l'IGN ;
- **d'une marge périphérique de 13 m** pour l'orifice 16, décomposée en 10 m d'incertitude intrinsèque liés au remblaiement partiel de l'orifice ne permettant pas de situer ces limites précisément et 3 m liés à la BD Ortho de l'IGN ;

Le Tableau 7 suivant détaille pour chaque orifice, la zone d'influence finale retenue et appliquée sur le pourtour de chaque orifice dans la spatialisation de l'aléa d'effondrement localisé.

Site	Orifice et niveau d'aléa retenu	Diamètre cratère d'effondrement estimé (m)	Zone d'incertitude (m)	Zone d'influence finale (m)
Pyrimont (Site 1)	Orifice 1	4	5	9
Mine du Château (Site 2)	Orifice 2	21,2	5	26,2
	Orifice 3	7,3	5	12,3
	Orifice 5	3,8	5	8,8
En Chalavray (Site 3)	Orifice 9	2	5	7
	Orifice 12	4	5	9
	Orifice 14	8,9	5	13,9
	Orifice 15	4,2	5	9,2
Les Lades (Site 4)	Orifice 16	4,3	13	17,3
	Orifice 17	4,9	5	9,9
	Orifice 18	3,1	5	8,1
Chantemerle (Site 8)	Orifice 24	0	5	5

Tableau 7 : Zone d'influence finale retenue pour la spatialisation de l'aléa d'effondrement localisé

3.1.2 Aléa d'effondrement généralisé

L'effondrement généralisé se caractérise par un mouvement d'extension spatiale importante et dont l'occurrence, quelle que soit l'amplitude de la descente des terrains de surface (directement reliée à l'ouverture des travaux et au taux de défrètement des chantiers), peut mettre en péril la sécurité des personnes et des biens situés dans l'emprise de l'instabilité.

Un effondrement généralisé entraîne un effondrement sur une surface importante de plusieurs hectares avec rupture de pente en marches d'escalier accompagnée d'une fracturation brutale des terrains.

D'un point de vue pratique, le mécanisme peut être initié par suite de la rupture d'un pilier, entraînant le report d'une partie de la charge que celui-ci supportait vers des piliers sains qui assuraient la stabilité du recouvrement.

Appliqué à la concession de Seyssel, cet aléa est retenu pour l'orifice 2 de la mine du Château et pour l'orifice 16 de la mine des Lades qui présentent, en termes de dimensions et d'historique d'exploitation (chambres et piliers abandonnés), les configurations requises pour la prise en compte de cet aléa.

3.1.2.1 Qualification de l'intensité de l'effondrement généralisé

L'effondrement généralisé se caractérise par des mouvements brusques et de grande ampleur. C'est un phénomène rare mais dont les conséquences sont potentiellement graves car ils peuvent affecter les terrains sus-jacents de façon durable et sur des surfaces importantes. La classe d'intensité de ce phénomène est donc systématiquement Élevée à Très élevée (Tableau 8).

Classe d'intensité	Description
Élevée	Effondrement en masse de la surface

Tableau 8 : Classes d'intensité pour l'effondrement généralisé (INERIS 2018)

Pour les orifices 2 et 16, la classe d'intensité retenue est donc **élevée**.

3.1.2.2 Qualification de la prédisposition à l'effondrement généralisé

La prédisposition à l'aléa « d'effondrement généralisé » est davantage accrue lorsqu'il existe des indices d'anciens désordres de ce type (visibles en surface ou décrits dans les archives) dans un secteur proche présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines. Or, il n'est pas recensé de phénomène d'effondrement historique de ce type, ni sur le site ni dans les environs.

La prédisposition à ce phénomène s'appuie donc pour l'essentiel, sur la combinaison de deux situations : la rupture de l'ouvrage souterrain et la rupture des terrains de recouvrement. Dans le contexte minier de Seyssel, les critères conduisant à ces situations sont principalement :

- un état de contraintes élevées s'exerçant au sein des piliers (lié en particulier au taux de défruitement) ;
- l'état de dimensionnement des piliers ;
- l'état du recouvrement (en termes d'épaisseur et selon la présence ou pas, de bancs raides) ;
- la sensibilité des matériaux à l'eau et le comportement du mur.

Cas de l'orifice 2

L'orifice 2 exploité pour rappel par chambres et piliers abandonnés, a son toit soutenu par 6 piliers et présente une superficie de 2600 m².

Bien que les piliers de l'orifice 2 se présentent sous un état massif, sans signe apparent d'endommagement (pas de discontinuités ni de plans de faiblesse) susceptibles d'envisager une baisse de leur performance géomécanique (cf. pièce 3), il est retenu un niveau de prédisposition **sensible** à l'aléa d'effondrement généralisé. Ce choix est justifié par :

- le taux de défruitement élevé de cet orifice, pour rappel estimé à 95 % (cf. pièce 3) ;
- l'épaisseur des terrains de couverture (Cf A4 de la pièce 2) variant entre 2 m du côté de la retenue d'eau puis passant rapidement à 15 m (sans qu'il ne soit établi avec précision si des bancs sains et porteurs sont bien existants) ;
- le fort taux d'humidité lié notamment à la circulation d'eau dans le réseau karstique et la présence d'une retenue d'eau constante (battement de niveau de l'ordre de 20 cm) ;
- l'état de la voute se présentant souvent humide, hétérogène avec des traces de fissures décrochantes (Figure 1).

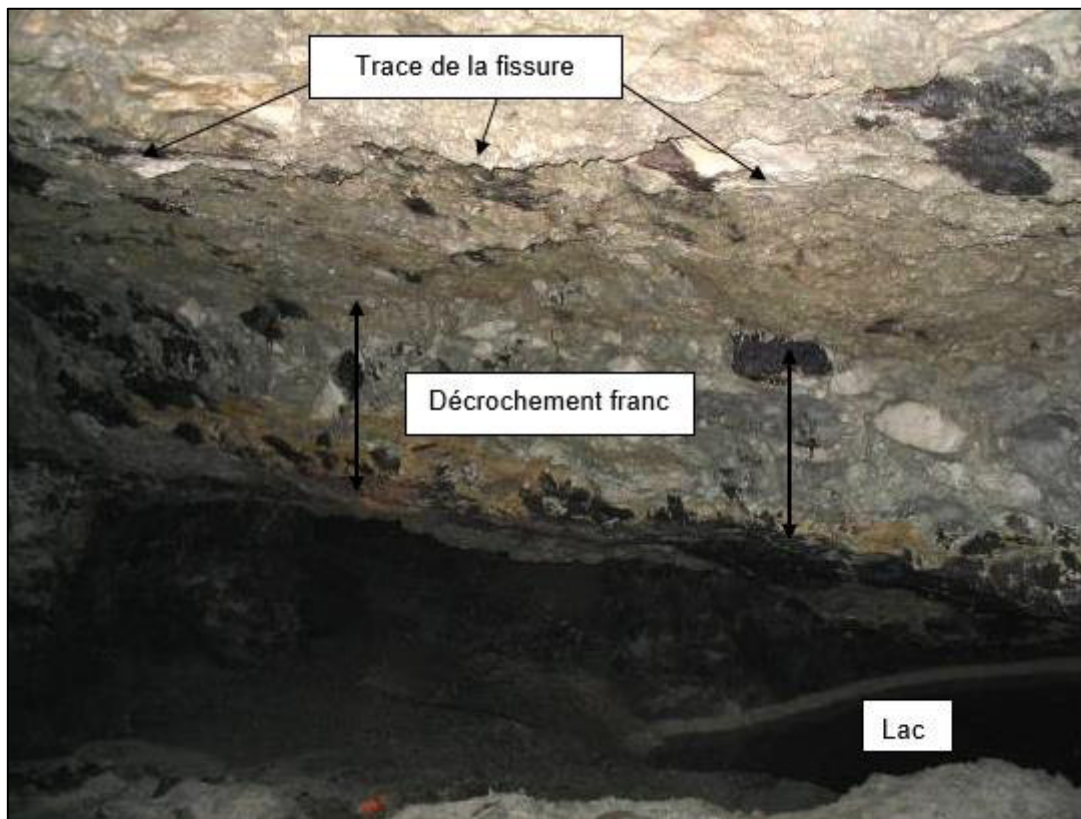


Figure 1 : Orifice 2, voûte vue depuis la salle principale en regardant vers l'est

Cas de l'orifice 16

D'une superficie de l'ordre de 3900 m², l'orifice 16 est tout comme l'orifice 2, également exploité par chambres et piliers abandonnés.

Il est retenu un niveau de prédisposition **peu sensible** à l'aléa d'effondrement généralisé. Ce choix est justifié par :

- le défruitement faible de cet orifice (20 %) ;
- son remplissage en stériles tout-venant (pour le comblement partiel et pour la constitution de murs latéraux, même si la qualité du remplissage ne permet pas en l'état, d'apprécier si des piliers rocheux ont été ou non effectivement conservés pour le confortement des voutes) ;
- l'épaisseur du recouvrement qui est relativement faible (de l'ordre de 2 à 2,5 m), laissant entrevoir une faible occurrence à la surcharge et à une rupture du toit ;
- la présence en voute de fissures minimes, d'épaisseurs millimétriques à pluricentimétriques ;
- le faible taux d'humidité.

3.1.2.3 Qualification de l'aléa effondrement généralisé

L'aléa minier pour l'effondrement généralisé est déterminé en croisant l'intensité du phénomène avec la prédisposition du site.

Concernant l'orifice 2, la zone étant classée avec une prédisposition **sensible** et une intensité **élevée**, l'aléa est donc considéré comme **Fort**.

Concernant l'**orifice 16**, la zone étant classée avec une prédisposition **peu sensible** et une intensité **élevée**, l'aléa est donc considéré comme **Moyen**.

Prédisposition Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
	Limitée		
Modérée			
Elevée	<i>Orifice 16</i>	<i>Orifice 2</i>	

Tableau 9 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène d'effondrement généralisé

3.1.2.4 Qualification de la zone d'influence de l'aléa effondrement généralisé

La zone de propagation de l'aléa d'effondrement généralisé, dans le cas d'exploitation par chambres et piliers, est considérée au moins équivalente en termes d'emprise, à celle de l'aléa d'effondrement localisé déterminée sur l'ensemble de l'exploitation.

Il est ainsi retenu :

- un rayon maximal d'influence de **26,2 m autour de l'orifice 2** ;
- un rayon maximal de **17,3 m autour de l'orifice 16**.

3.1.3 Aléa de tassement

Comme indiqué dans le guide méthodologique de l'INERIS, 2018, les stériles de comblement, 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 de matériaux que de granulométries. Leur mise en place souvent assurée par simple déversement, ne garantit pas une compaction complète des déblais.

Appliqué à la concession de Seyssel, les mouvements de type tassement sont retenus sur :

- l'ensemble des dépôts, pour rappel, situés pour partie dans le site de la mine du Château (1 dépôt de crassiers) et pour partie dans le site du Paradis (2 dépôts de terre) ;
- les travaux à ciel ouvert du site du Paradis cartographiés à partir de scans de plans d'archives et dont le repérage sur site laisse penser à un éventuel remblayage post-exploitation, bien que celui-ci ne soit pas documenté.

3.1.3.1 Qualification de l'intensité des tassements

L'intensité des conséquences d'un phénomène de tassement demeure limitée (ordre centimétrique à décimétrique). Le tableau ci-après présente les classes d'intensité données par le guide INERIS.

Classe d'intensité	Amplitude prévisible
<i>Très limitée</i>	Amplitude d'ordre centimétrique
<i>Limitée</i>	Amplitude d'ordre décimétrique

Tableau 10 : Classes d'intensité pour le tassement (INERIS, 2018)

Les 3 dépôts inventoriés sur la concession de Seyssel sont davantage des ouvrages « localisés » c'est-à-dire mentionnés sur les plans miniers ou dans les archives que des ouvrages « matérialisés » c'est-à-dire vus sans ambiguïtés sur le terrain. Seul le site du Paradis présente une petite butte qui s'apparente aux dépôts de terre évoqués dans le plan d'exploitation de ce site. Cette butte n'a pas fait l'objet de suivi topographique particulier.

Par principe de sécurité, l'intensité de l'aléa tassement retenue est **limitée** pour l'ensemble des trois dépôts répertoriés de la concession.

S'agissant de l'exploitation à ciel ouvert du site de Paradis, supposée avoir fait l'objet de remblaiement, le même niveau d'intensité que pour les dépôts est retenu à savoir, **limitée**.

3.1.3.2 Qualification de la prédisposition des tassements

La prédisposition d'un site au développement de tassement est liée à l'existence d'indices d'anciens mouvements du même type et à la présence d'ouvrages de dépôts et de zones remblayées.

Bien que ces deux critères ne soient pas strictement existants sur l'ensemble des objets concernés (dépôts et travaux à ciel ouvert potentiellement remblayés), la prédisposition retenue est **sensible**.

3.1.3.3 Qualification de l'aléa tassement

Pour les trois dépôts et la zone supposée remblayée correspondant aux travaux à ciel ouvert du Paradis, l'intensité étant définie comme « **limitée** », et la prédisposition comme « **sensible** », l'aléa minier retenu est **faible**.

Prédisposition / Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée		<i>Les 2 dépôts du site du Paradis Dépôt de la mine du Château Zone de remblais probable des travaux à ciel ouvert de Paradis</i>	
Modérée			
Élevée			

Tableau 11 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène de tassements

3.1.3.4 Qualification de la zone d'influence de l'aléa tassement

Pour l'ensemble des trois dépôts, la zone d'influence de l'aléa tassement correspond à leur emprise majorée :

- **d'une marge de 13 m** pour la mine du Château dépourvue de plans d'emprise historique et pour laquelle la cartographie est réalisée à titre informatif uniquement sur la base des témoignages des visites de mines ;
- **d'une marge de 13 m** liée au géoréférencement du plan de l'exploitation du Paradis (incertitude estimée à 10 m) et à l'incertitude associée à la BD Ortho de l'IGN (3 m).

3.1.4 Aléa de mouvement de pente de matériaux rocheux

Il s'agit d'un mouvement de pente soudain au cours duquel des masses rocheuses, plus ou moins volumineuses, se détachent d'une paroi généralement très raide pour aller s'écraser au pied du front.

3.1.4.1 Qualification de l'intensité des mouvements de pentes rocheuses

C'est principalement le volume de matériaux mis en mouvement qui influera sur l'intensité du phénomène. Les valeurs seuils présentées dans le tableau suivant sont fournies à titre purement indicatif par l'INERIS.

Classe d'intensité	Description	Volume mis en jeu (m ³)
<i>Limitée</i>	Chute de pierres isolée	< 0,1 m ³
<i>Modérée</i>	Chute de blocs	0,1 à 10 m ³
<i>Elevée</i>	Eboulement	10 à 10 ⁴ m ³
<i>Très élevée</i>	Eboulement majeur	> 10 ⁴ m ³

Tableau 12 : Classes d'intensité pour les mouvements de pentes rocheuses (INERIS, 2018)

Appliqué à la concession de Seyssel, l'aléa mouvement de pentes rocheuses s'applique à l'ensemble des exploitations à ciel ouvert, pour rappel situées dans la mine du Château, le site d'En Chalavray, des Lades, de Paradis et d'En Réoux. Lors du repérage et/ou levé altimétrique des zones ayant fait l'objet de travaux à ciel ouvert, il a été constaté que :

- les fronts rocheux actuels ne dépassent pas 5 m de hauteur ;
- les exploitations à ciel ouvert sont minimales et de très faible étendue ;
- les travaux ne présentent pas de configuration en banquettes et gradins, ni de fosse résiduelle (du fait du grattage et de la méthode artisanale d'exploitation) typique d'une configuration qu'aurait générée une découverte réalisée par des tirs de mine.

En conséquence les volumes de matériaux mis en jeu ne représentent qu'une quantité minimale de matériaux s'apparentant à un ou quelques blocs qui se détacheraient de la paroi avec un volume probable ne dépassant pas 0,1 m³.

L'intensité du phénomène est donc retenue comme **limitée**.

3.1.4.2 Qualification de la prédisposition aux mouvements de pentes rocheuses

La qualification de la prédisposition se base sur l'appréciation de différents facteurs qui peuvent contribuer à des phénomènes d'écroulement rocheux. Au regard des différents facteurs aggravants proposés par l'INERIS et vis-à-vis du contexte du site, les plus pertinents sont les suivants :

- l'existence d'anciens mouvements de type « écroulement rocheux » ;
- la géométrie des fronts de fosse ;
- le réseau de discontinuités affectant le massif.

Les investigations terrains effectuées, n'ont pas montré la présence de blocs dispersés potentiellement détachés des talus hauts des fronts rocheux, ce qui atteste d'une certaine stabilité des ouvrages.

Aucun réseau de discontinuités affectant le front n'a été relevé au cours des inspections sur site et la configuration des fronts résiduels ne fait l'objet d'aucun facteur aggravant externe (pas de sollicitations dynamiques ou statiques).

La prédisposition est donc considérée comme **peu sensible**.

3.1.4.3 Qualification de l'aléa des mouvements de pentes rocheuses

L'intensité étant définie comme « limitée », et la prédisposition comme « peu sensible », l'aléa minier résiduel retenu est **faible** pour l'ensemble des travaux à ciel ouvert des sites de la mine du Château, d'En Chalavray, des Lades, de Paradis et d'En Réoux.

Prédisposition / Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	<i>Travaux à ciel ouvert de la mine du Château</i> <i>Travaux à ciel ouvert d'En Chalavray</i> <i>Travaux à ciel ouvert des Lades</i> <i>Travaux à ciel ouvert d'En Réoux</i> <i>Travaux à ciel ouvert de Paradis</i>		
Modérée			
Élevée			

Tableau 13 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène de mouvements de pentes rocheuses

3.1.4.4 Qualification de la zone d'influence de l'aléa mouvements de pentes rocheuses

Compte tenu du fait de l'absence au droit des anciens travaux à ciel ouvert, de zones d'éboulement actives, il a été considéré :

- **une zone de propagation égale à 1/3 de la hauteur** à partir de la base du parement qui correspond à la zone maximale concernée en aval suite à un phénomène d'éroulement rocheux ;
- **une marge de 5 m appliquée sur le pourtour de cette zone de propagation** afin de prendre en compte l'incertitude liée à la levée des coordonnées et à la représentation cartographique (BD Ortho de l'IGN de 3 m).

3.1.5 Aléa mouvement de pente de matériaux meubles

Les instabilités de pente constituent un type de désordre résultant du mouvement d'une masse de terrain le long d'une zone de rupture définie par une surface continue. Ces glissements peuvent être profonds ou superficiels.

Appliqué à la concession de Seyssel, ce phénomène est retenu sur l'ensemble des trois dépôts inventoriés du site (qu'ils soient matérialisés ou non).

3.1.5.1 Qualification de l'intensité des mouvements de pente de matériaux meubles

C'est principalement le volume de matériaux mis en mouvement qui influe sur l'intensité du phénomène. Les principaux facteurs susceptibles de jouer sur le volume de matériaux mis en mouvement sont : la nature et la granulométrie des matériaux constituant le talus, la hauteur et la morphologie de la pente,

l'intensité des ruissellements prévisibles, l'existence ou non de mesures d'aménagement (géotextiles, engazonnement...).

Les valeurs seuils présentées dans le tableau suivant sont fournies à titre purement indicatif par l'INERIS.

Classe d'intensité	Description	Volume mis en jeu (m ³)
<i>Très limitée</i>	Reptations, ravinements	Volumes de quelques m ³
<i>Limitée</i>	Glissements superficiels, ravinements importants	10 m ³ à 100m ³
<i>Modérée</i>	Glissements profonds	100 à 5000 m ³
	Coulée capable de dégrader certains bâtiments et de mettre en danger la circulation	Hauteur de flux < 50 cm
<i>Élevée</i>	Glissements majeurs	> 5000 m ³
	Coulée dévastatrice pour les personnes et les biens	Hauteur de flux > 50 cm

Tableau 14 : Classes d'intensité pour le glissement de terrain ou mouvement de pente (INERIS, 2018)

Sur la base de la superficie cartographiée des dépôts du Paradis (environ 20 m² pour chacun des dépôts de terre) et considérant la faible hauteur de la butte identifiée lors du repérage (4 m tout au plus) et correspondant à au moins l'un des dépôts évoqués sur le plan du Paradis, il est considéré pour chaque dépôt de ce site, que le volume de terrains susceptible d'être déplacé, est compris entre 10 et 100 m³ en conditions majorantes.

Le dépôt de la mine du Château évoqué dans les témoignages de visites de mines, n'est pas matérialisé sur le site. Il n'est gardé qu'au titre de la mémoire minière.

En conséquence, l'intensité est qualifiée de **très limitée** pour le dépôt de la mine du Château et **limitée** pour les deux dépôts du site du Paradis.

3.1.5.2 Qualification de la prédisposition des mouvements de pente de matériaux meubles

La qualification de la prédisposition se base sur l'appréciation de différents facteurs qui peuvent contribuer à des phénomènes de mouvements de pente. Au regard des différents facteurs proposés par l'INERIS vis-à-vis du contexte du site, les plus pertinents sont :

Pour le dépôt de la mine du Château

- une absence d'ouvrage matérialisé ;
- une absence de flancs ;
- une absence d'indice d'activité de mouvement.

Pour les dépôts de terre du site du Paradis

- la nature des matériaux (terre) considérés sensibles à l'érosion, au ravinement.

La prédisposition est donc considérée comme **peu sensible** pour le dépôt de la mine du Château et **sensible** pour les dépôts de terre du site du Paradis.

3.1.5.3 Qualification de l'aléa mouvements de pente de matériaux meubles

L'intensité étant définie comme « très limitée » à « limitée », et la prédisposition comme « peu sensible à sensible », l'aléa minier résiduel retenu est **faible** pour l'ensemble des dépôts.

Ce niveau d'aléa a été conservé pour les 3 dépôts répertoriés du site, indépendamment du fait qu'ils soient matérialisés ou localisés, afin de conserver la mémoire minière.

Prédisposition / Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Dépôt de la mine du Château	Les 2 dépôts du site du Paradis	
Modérée			
Élevée			

Tableau 15 : Évaluation de l'aléa pour le phénomène de mouvements de pente de matériaux meubles

3.1.5.4 Qualification de la zone d'influence de l'aléa mouvement de pente de matériaux meubles

La spatialisation de l'aléa mouvement de pente de matériaux meubles prend en compte l'emprise des dépôts majorée :

- **d'une marge de 13 m** liée au géoréférencement du plan de l'**exploitation du Paradis** (incertitude estimée à 10 m) et à l'incertitude associée à la BD Ortho de l'IGN (3 m) ;
- **d'une marge de 13 m pour la mine du Château** liée à l'incertitude de localisation du dépôt évoqué dans les archives (10 m) et prenant en compte l'incertitude associée à la BD ortho de l'IGN.

3.2 Aléas liés aux perturbations hydrologiques et hydrogéologiques

3.2.1 Aléa modification des émergences

L'aléa modification des émergences a été retenue sur l'ensemble des orifices miniers, leur création créant le rôle de drains préférentiels par lesquels, les eaux émergent lorsqu'ils sont des points bas.

3.2.1.1 Qualification de l'intensité de la modification des émergences

L'apparition de résurgences en surface est directement conditionnée par le débit qui constitue le paramètre permettant de discriminer les classes d'intensité.

Classe d'intensité	Description	Débit d'émergence (L/s)
Limitée	Suintement	< 1
Modérée	Petit ruisseau	< 10
Élevée	Gros ruisseau	< 100
Très élevée	Résurgence exceptionnelle	>100

Tableau 16 : Classes d'intensité pour la modification du régime des émergences (INERIS, 2018)

Il est retenu une intensité **modérée** pour l'orifice 17 où des débits de quelques litres/seconde ont été observés. Pour le reste des orifices, l'intensité évaluée est qualifiée de **limitée** car l'évènement attendu se limiterait à des suintements.

3.2.1.2 Qualification de la prédisposition à la modification du régime des émergences

Le facteur déterminant qui influe sur la prédisposition d'un site à voir apparaître de nouvelles émergences est l'établissement d'une cote d'équilibre de la surface piézométrique de la nappe au-dessus de la cote des points bas de la surface topographique. Si la nappe se stabilise sous le niveau des points bas topographiques, il y a alors drainage vers un autre bassin versant souterrain, et la probabilité d'apparition de résurgences peut être considérée comme nulle sur le secteur d'étude.

En présence de ce facteur déterminant, plusieurs autres facteurs peuvent alors favoriser la prédisposition d'un site à l'apparition de résurgences :

- **l'existence d'indices d'anciennes sources** situées, avant l'exploitation minière, à proximité immédiate ;
- **l'existence d'ouvrages miniers débouchant au jour** connectés au réservoir souterrain ;
- **la présence d'hétérogénéités naturelles** (zones à forte perméabilité, failles, fractures, conduits karstiques...) susceptibles de jouer un rôle de drains préférentiels.

Il a été retenu une prédisposition **sensible** à une modification du régime des émergences du fait de la présence d'orifices débouchant au jour, taillés dans la roche, mettant en relation des hétérogénéités naturelles (failles, fractures, contexte karstique) avec la surface, et pouvant jouer un rôle de drains préférentiels des eaux souterraines en surface.

3.2.1.3 Qualification de l'aléa modification des émergences

L'intensité de l'aléa minier modification des émergences est considérée comme **modérée** au droit de l'orifice 17 et **limitée** sur les autres orifices et comme la prédisposition de l'aléa minier est évaluée comme **sensible** sur l'ensemble des orifices, l'aléa minier modification des émergences est donc qualifié de **moyen** sur l'orifice 17 et de **faible** sur les autres orifices (Tableau 17).

Prédisposition Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée		Autres orifices 	
Modérée		Orifice 17 	
Élevée			

Tableau 17 : Évaluation de l'aléa de modification du régime des émergences

3.2.1.4 Qualification de la zone d'influence de l'aléa de la modification des émergences

La zone d'influence de l'aléa modification des émergences est spatialisée en fonction :

- **d'une marge d'incertitude de 13 mètres** pour prendre en compte l'incertitude liée à la levée des coordonnées et à la représentation cartographique (BD Ortho de l'IGN).

Nota : L'emprise des zones à risques d'apparition de nouvelles émergences au droit de l'ensemble des orifices, en particulier l'orifice 17, est déjà prise en compte par la zone d'influence appliquée.

3.2.2 Aléa inondations brutales

Ce phénomène est exceptionnel et est difficile à caractériser compte-tenu de l'ensemble des paramètres à prendre en compte (nature des terrains encaissants, volume d'eau contenu dans la cavité, ...). Il se manifeste par le déferlement d'une lame d'eau caractérisée par une certaine hauteur et une vitesse d'écoulement.

L'aléa inondation brutale a été retenu au niveau des sites des Châtaigniers pour les orifices 21 et 22, des Lades pour les orifices 17 et 18 et de la mine du Château pour l'orifice 2.

3.2.2.1 Qualification de l'intensité de l'inondation brutale

Le guide méthodologique de l'INERIS propose de qualifier l'intensité de l'inondation brutale par la simple valeur indicative de la hauteur d'eau atteinte par l'inondation, partant du principe que la vitesse d'écoulement atteint toujours une valeur dangereuse.

Classe d'intensité	Description	Valeur Hauteur d'eau (cm)
<i>Limitée</i>	Flux d'eau capable de fortes érosions locales mais sans dégradation des bâtiments ou danger pour les personnes ou les véhicules	<20
<i>Modérée</i>	Flux d'eau capable de dégrader certains bâtiments et de mettre en danger localement la circulation	Entre 20 et 50
<i>Élevée</i>	Flux d'eau dévastateur	>50

Tableau 18 : Classes d'intensité pour l'inondation brutale (INERIS, 2018)

En l'état actuel, l'intensité possible du phénomène est la suivante :

- au niveau des sites des Châtaigniers et des Lades, elle est qualifiée de *limitée* du fait de l'absence d'une hauteur d'eau supérieure à 20 cm capable de dégrader des bâtiments ou pouvant présenter un quelconque danger pour les personnes et les véhicules. De plus, le milieu récepteur est le milieu naturel et aucun bâtiment ou ouvrage ne se trouve en aval des orifices concernés par le possible rejet.
- dans le cas de la mine du Château, l'intensité du phénomène serait qualifiable de *modérée* du fait de l'existence d'un réservoir d'une capacité de 455 m³ situé à proximité de l'orifice au jour d'après les mesures échométriques réalisées, pouvant provoquer une hauteur d'eau comprise entre 20 et 50 centimètres. De plus il est noté la présence d'une route départementale, d'un bâtiment et de la ligne SNCF Lyon-Genève en aval topographique.

3.2.2.2 Qualification de la prédisposition à l'inondation brutale

D'après l'INERIS, le facteur de prédisposition essentiel, est l'existence d'un réservoir minier en amont de l'exutoire, susceptible de se vidanger brutalement. Les facteurs aggravants sont :

- l'impossibilité de surveiller et d'entretenir les bouchons d'obturation ;
- l'impossibilité ou l'absence de surveillance du niveau d'eau dans les travaux miniers ;

- les risques d'instabilité des travaux miniers pouvant engendrer un effondrement de masse ;
- la possibilité d'alimentation intempestive du réservoir minier par un karst en crue ;
- la présence de terrains calcaires pouvant contenir des conduits karstiques colmatés, susceptibles de communiquer avec les travaux miniers.

La prédisposition de ces sites est due à l'existence d'un réservoir minier susceptible d'une « vidange brutale » aggravée par les risques d'instabilité pouvant entraîner un effondrement en masse et chassant un certain volume d'eau en dehors des travaux miniers. La prédisposition est qualifiée de **sensible** pour l'ensemble des cavités concernées.

3.2.2.3 Qualification de l'aléa inondation brutale

Compte tenu des hypothèses précédentes, l'aléa minier inondation brutale est donc qualifié de **faible** pour les orifices 17, 18, 21 et 22 et de **moyen** pour l'orifice 2.

Prédisposition Intensité	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée		<i>Orifices 17, 18, 21 et 22</i>	
Modérée		<i>Orifice 2</i>	
Elevée			

Tableau 19 : Évaluation de l'aléa d'inondation brutale

3.2.2.4 Qualification de la zone d'influence de l'inondation brutale

La zone d'influence de l'aléa inondation brutale est spatialisée en fonction :

- de la topographie en surface conduisant gravitairement la lame d'eau générée jusqu'à l'exutoire ;
- d'une marge de **5 m** pour prendre en compte l'incertitude liée à la représentation cartographique.

4 ZONAGE GLOBAL DE L'ALEA MINIER

4.1 Avant mise en sécurité

Les zones d'aléa minier avant travaux sont représentées dans la pièce n°2 et listées dans le Tableau 20.

Aléas \ Secteur	Pyrimont (site 1)	Mine du Château (site 2)	En Chalavray (site 3)	Les Lades (site 4)	Vézéronce (site 5)	Châtaigners (site 6)	En Réoux (site 7)	Chantemerle (site 8)	Paradis (site 9)	Morat (site 10)
Mouvements de terrain										
Effondrement localisé	Orifice 1	Orifice 3 Orifice 5	Orifice 9 Orifice 12 Orifice 14 Orifice 15	Orifice 16 Orifice 17 Orifice 18	∅	∅	∅	Orifice 24	∅	∅
	∅	Orifice 2			∅	∅	∅	∅	∅	∅
Effondrement généralisé	∅	Orifice 2	∅	Orifice 16	∅	∅	∅	∅	∅	∅
Mouvement de pentes rocheuses	∅	Travaux à ciel ouvert de la mine du Château	Travaux à ciel ouvert d'En Chalavray	Travaux à ciel ouvert des Lades	∅	∅	Travaux à ciel ouvert d'En Réoux	∅	Travaux à ciel ouvert de Paradis	∅
Tassement	∅	Dépôt de la mine du Château	∅	∅	∅	∅	∅	∅	Dépôt 1 de Paradis	∅
									Dépôt 2 de Paradis	
Mouvement de pentes de matériaux meubles	∅	Dépôt de la mine du Château	∅	∅	∅	∅	∅	∅	Dépôt 1 de Paradis	∅
									Dépôt 2 de Paradis	
Perturbations hydrologiques et hydrogéologiques										
Modification des émergences	Orifice 1	Orifice 2 Orifice 3 Orifice 4 Orifice 5 Orifice 6 Orifice 7	Orifice 8 Orifice 9 Orifice 10 Orifice 11 Orifice 12 Orifice 13 Orifice 14 Orifice 15	Orifice 16 Orifice 18 Orifice 17	Orifice 19 Orifice 20	Orifice 21 Orifice 22	∅	Orifice 24	Orifice 25	Orifice 26
		∅	Orifice 2	∅	Orifice 17 Orifice 18	∅	Orifice 21 Orifice 22	∅	∅	∅
Inondations brutales	∅	Orifice 2	∅	Orifice 17 Orifice 18	∅	Orifice 21 Orifice 22	∅	∅	∅	∅

Tableau 20 : Zonage global de l'aléa minier avant mise en sécurité (Vert : Aléa faible ; Orange : Aléa moyen ; Rouge : Aléa fort)

4.2 Après mise en sécurité

Le mode de mise en sécurité complet proposé pour les différents ouvrages est décrit dans la **pièce n°3 bis**. Les zones d'aléa minier qui devraient être retenues après travaux sont représentées dans la pièce n°2 et listées dans le Tableau 21.

Aléas \ Secteur	Pyrimont (site 1)	Mine du Château (site 2)	En Chalavray (site 3)	Les Lades (site 4)	Vézéronce (site 5)	Châtaigners (site 6)	En Réoux (site 7)	Chantemerle (site 8)	Paradis (site 9)	Morat (site 10)	Travaux et mesures de suivi proposés (Cf. Pièce 3bis)
Mouvements de terrain											
Effondrement localisé	Orifice 1	Orifice 3 Orifice 5	Orifice 9 Orifice 12 Orifice 14 Orifice 15	Orifice 16 (sous route) Orifice 17 (sous route) Orifice 16 Orifice 17 Orifice 18	∅	∅	∅	Orifice 24	∅	∅	Bourrage et talutage de l'orifice 14 Remblaiement Orifice 16 sous la route + mise en place mur bétonné et barreaudage aux deux entrées de la cavité.
Effondrement généralisé	∅	Orifice 2	∅	Orifice 16	∅	∅	∅	∅	∅	∅	Remblaiement de l'orifice 17 sous la route. Mise en place d'une haie végétale autour de l'orifice 2.
Mouvement de pentes rocheuses	∅	Travaux à ciel ouvert de la mine du Château	Travaux à ciel ouvert d'En Chalavray	Travaux à ciel ouvert des Lades	∅	∅	Travaux à ciel ouvert d'En Réoux	∅	Travaux à ciel ouvert de Paradis	∅	
Tassement	∅	Dépôt de la mine du Château	∅	∅	∅	∅	∅	∅	Dépôt 1 de Paradis Dépôt 2 de Paradis Zone de remblais probable des travaux à ciel ouvert de Paradis	∅	
Mouvement de pentes de matériaux meubles	∅	Dépôt de la mine du Château	∅	∅	∅	∅	∅	∅	Dépôt 1 de Paradis Dépôt 2 de Paradis	∅	
Perturbations hydrologiques et hydrogéologiques											
Modification des émergences	Orifice 1	Orifice 2 Orifice 3 Orifice 4 Orifice 5 Orifice 6 Orifice 7	Orifice 8 Orifice 9 Orifice 10 Orifice 11 Orifice 12 Orifice 13 Orifice 14 Orifice 15	Orifice 16 Orifice 18 Orifice 17	Orifice 19 Orifice 20	Orifice 21 Orifice 22	∅	Orifice 24	Orifice 25	Orifice 26	Mise en place de mur bétonné pour l'orifice 17 + barreaudage permettant le transit d'eau
Inondations brutales	∅	Orifice 2	∅	Orifice 17 Orifice 18	∅	Orifice 21 Orifice 22	∅	∅	∅	∅	Mise en place d'un mur bétonné pour l'orifice 2 + barreaudage permettant le transit d'eau

Tableau 21 : Zonage global de l'aléa minier après mise en sécurité (Vert : Aléa faible ; Orange : Aléa moyen ; Rouge : Aléa fort)

Annexe 1 Coefficients de foisonnement préconisés par la Recommandation pour les Terrassements Routiers (R.T.R)

Coefficients de foisonnement préconisés par la R.T.R

Classe R.T.R.	Dénomination R.T.R.	Types de sols le plus fréquemment rencontrés	Densité en place (t/m3)	Coefficient de foisonnement	Densité foisonnée (t/m3)
A	Sols fins	Limons peu plastiques	1,6 à 1,8	1,30 à 1,40	1,260
		Limons très plastiques	1,7 à 1,9	1,35 à 1,55	1,240
		Loess	1,5 à 1,7	1,20 à 1,30	1,280
		Arènes peu plastiques	1,7 à 1,9	1,30 à 1,45	1,310
		Argiles et marnes peu plastiques	1,6 à 1,8	1,30 à 1,45	1,240
		Argiles et marnes très plastiques	1,7 à 2,0	1,40 à 1,60	1,250
		Marnes	1,8 à 2,4	1,30 à 1,40	1,560
		Sables fins argileux	1,8 à 2,1	1,25 à 1,35	1,500
Sables fins peu argileux	1,6 à 1,8	1,10 à 1,15	1,510		
B	Sols sableux ou graveleux avec fines	Silts	1,5 à 1,7	1,10 à 1,20	1,390
		Sables silteux	1,6 à 1,8	1,05 à 1,15	1,545
		Graves silteuses	1,7 à 2,0	1,10 à 1,20	1,610
		Graves peu argileuses	1,8 à 2,1	1,10 à 1,20	1,695
		Graves argileuses	1,7 à 2,0	1,15 à 1,25	1,540
Graves très silteuses	1,6 à 1,9	1,15 à 1,25	1,460		
C	Sols comportant des fines et de gros éléments	Argiles à silex	1,9 à 2,2	1,30 à 1,45	1,490
		Argiles à meulière	1,8 à 2,1	1,30 à 1,45	1,420
		Eboulis	1,8 à 1,9	1,40 à 1,50	1,275
		Moraines	1,8 à 2,0	1,40 à 1,50	1,310
		Roches altérées	1,8 à 2,0	1,20 à 1,30	1,520
Alluvions grossières	1,8 à 2,0	1,20 à 1,30	1,520		
D	Sols et roches insensibles à l'eau	Sables alluvionnaires propres	1,6 à 1,9	1,05 à 1,15	1,590
		Sables de dunes	1,4 à 1,5	1,00 à 1,10	1,380
		Graves alluvionnaires	1,8 à 2,0	1,20 à 1,30	1,520
		Roches non évolutives	1,8 à 2,0	1,20 à 1,30	1,520
		Calcaires durs	2,2 à 2,8	1,40 à 1,60	1,660
		Granit	2,4 à 2,9	1,40 à 1,60	1,770
		Porphyres	2,6 à 2,9	1,40 à 1,60	1,830
		Grès durs	1,9 à 2,7	1,40 à 1,60	1,530
		Basalte	2,7 à 3,0	1,40 à 1,60	1,900
E	Roches évolutives	Craies	1,5 à 2,3	1,30 à 1,50	1,360
		Schistes	1,9 à 2,3	1,30 à 1,50	1,500
F	Matériaux putrescibles et polluants	Terre végétale	1,2 à 1,4	1,07 à 1,15	1,170
		Humus forestiers	0,7 à 1,1	1,20 à 1,25	0,730
		Tourbes	0,3 à 0,9	1,00 à 1,10	0,570

Annexe 2 Méthode de détermination du diamètre du cratère en surface dans le scénario d'effondrement localisé d'une galerie

Méthode de détermination du diamètre du cratère en surface dans le scénario d'un effondrement localisé

La figure ci-dessous illustre une situation d'effondrement localisé d'une galerie et présente les grandeurs retenues dans le calcul du diamètre du cratère qui apparaîtrait en surface.

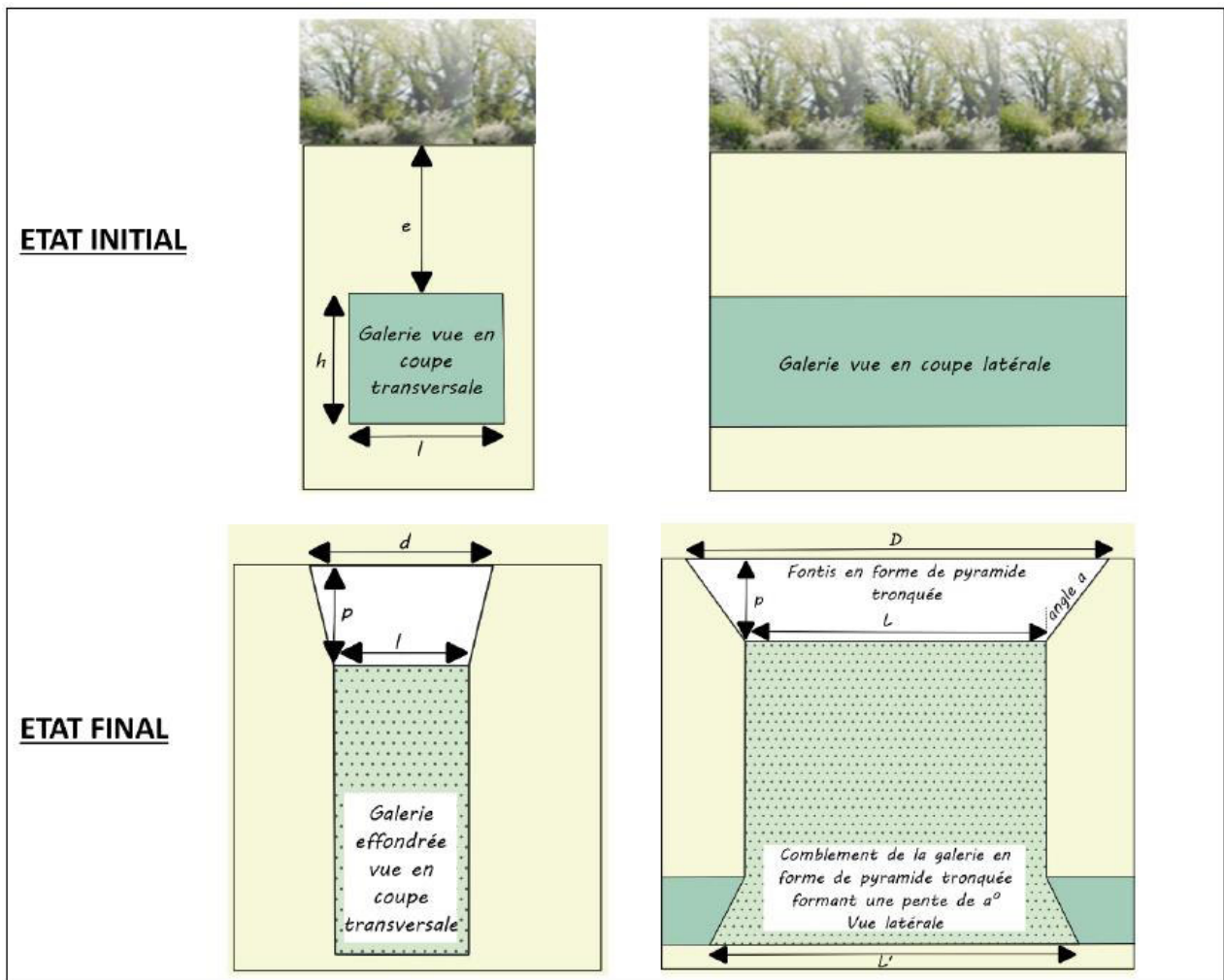


Figure 1 : Schéma de principe d'une situation d'effondrement localisé au droit d'une galerie

Les paramètres pertinents à prendre en compte sont :

- le volume des terrains de recouvrement impactés par l'effondrement est :

$$V_{tr} = e * l * L$$

- le volume des terrains de recouvrement foisonnés formant une pyramide tronquée, est :

$$V_{tf} = V_{tr} * f = \frac{1}{3} * h * ((e - p) * L * l) + (((l * L) + (L' * l) + \sqrt{(l * L) * (d * l)})$$

- la longueur L' du talus formé en profondeur par les terrains de recouvrement foisonnés est :

$$L' = L + 2h * \tan(a)$$

- le diamètre D correspondant à celui du cratère d'effondrement en surface, est donné par la relation :

$$D = L + 2p * \tan(a)$$

Avec,

l = largeur de la galerie

h = hauteur de la galerie

L = longueur d'effondrement, pour rappel égale à 1 m suivant les hypothèses

f = coefficient de foisonnement

a = pente formée suite au comblement des terrains foisonnés

p = profondeur d'effondrement