

Antenne SUD
Pist Oasis 3 - Bât A
Rue de la Bergerie
30319 ALES CEDEX
Tél : +33 (0)4.66.61.09.80
Fax : +33 (0)4.66.25.89.68

**Bassin du Lubéron (04)
Synthèse de l'évaluation des aléas liés à
l'ancienne activité minière
Mise à jour de la cartographie des aléas
des communes de
Fontienne, Forcalquier et Sigonce**

RAPPORT S 2017/008DE - 17PAC22030

Date : 03/02/2017

Bassin du Lubéron (04)
Synthèse de l'évaluation des aléas liés à
l'ancienne activité minière
Mise à jour de la cartographie des aléas
des communes de
Fontienne, Forcalquier et Sigonce

RAPPORT S 2017/008DE - 17PAC22030

Diffusion :

DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur
5 ex.papier (1 DREAL, 3 communes, 1 DDT)
6 CD (1 DREAL, 3 communes, 1 DDT, 1 Préfecture)

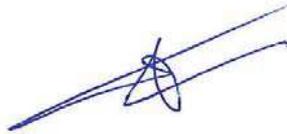
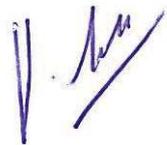
Hubert FOMBONNE

Pôle Après-Mine Sud

Jehan GIROUD

GEODERIS

Rafik HADADOU

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	T. DELAUNAY	O. LEFEBVRE	C. VACHETTE
Visa			

SOMMAIRE

1	Définitions et méthodologie	5
1.1	Définitions de l'aléa et du risque	5
1.1	Aléa faible	5
1.2	Aléa fort	5
1.2	Incertitudes cartographiques	5
1.3	Méthodologie mise en œuvre	6
2	Contexte et périmètre de l'étude	9
3	Travaux réalisés et démarche adoptée	11
4	Synthèse du contexte géologique, gîtologique et hydrogéologique du sous-bassin de Sigonce	13
5	Description synthétique des travaux miniers réalisés	15
5.1	Mine de Sigonce et des Gaillardons	15
5.2	Concession de Fontienne	16
5.3	Concession de Bois-du-Roi	17
5.4	Concession de La Baume	17
5.5	Synthèse par commune des exploitations	18
6	Etat des connaissances du bassin	19
6.1	Ouvrages débouchant au jour	19
6.2	Dimensions et état géotechnique des travaux miniers	19
6.3	Désordres	20
6.4	Les dépôts : Verses et terrils	21
6.5	Eléments relatifs au gaz de mine	22
6.6	Eléments relatifs aux incendies	22
6.7	Impacts environnementaux	22
7	Cartographie informative	23
7.1	Incertitudes de localisation	23
7.1.1	Incertitudes sur la position des ouvrages débouchant au jour	24
7.1.2	Incertitudes de localisation des travaux miniers souterrains	24
7.1.3	Incertitude de localisation des affleurements de la couche de lignite exploitée	24
8	Liste des phénomènes	27
9	Identification des phénomènes retenus et écartés	29
9.1	Phénomènes écartés	29
9.1.1	Effondrement généralisé	29
9.1.2	Echauffement	29
9.1.3	Gaz de mine	30
9.2	Phénomènes retenus	31
9.2.1	Effondrement localisé	31
9.2.2	Affaissement	31
9.2.3	Mouvements de pente	32

9.2.4	Tassement	32
9.2.5	Inondation	32
9.3	Aléas non évalués	33
9.3.1	Pollution des eaux et sols	33
9.3.2	Emission rayonnements ionisants	33
10	Evaluation de l'aléa effondrement localisé	35
10.1	Description du phénomène	35
10.2	Zone d'altération superficielle	36
10.3	Evaluation de l'aléa	37
10.3.1	Effondrement localisé lié aux galeries isolées	37
10.3.2	Effondrement localisé lié aux exploitations	40
10.3.3	Effondrement localisé lié aux puits	42
11	Evaluation de l'aléa affaissement	45
11.1	Description du phénomène	45
11.2	Evaluation de l'aléa effondrement affaissement	46
11.2.1	Mine de Sigonce et des Gaillardons	46
11.2.2	Concessions de Bois du Roi et de Fontienne	48
12	Evaluation de l'aléa glissement	49
13	Evaluation de l'aléa tassement	51
14	Evaluation de l'aléa inondation	53
14.1	Modifications des émergences	53
14.1.1	Evaluation de la prédisposition	53
14.1.2	Evaluation de l'intensité	53
14.1.3	Evaluation de l'aléa	54
14.2	Inondation brutale	54
14.2.1	Evaluation de la prédisposition	54
14.2.2	Evaluation de l'intensité	54
14.2.3	Evaluation de l'aléa	54
15	Cartographie des aléas	55
15.1	Cartographie de l'aléa effondrement localisé	55
15.2	Cartographie de l'aléa affaissement	57
15.3	Cartographie de l'aléa glissement	59
15.4	Cartographie de l'aléa tassement	59
15.5	Cartographie de l'aléa inondation	59
15.5.1	Aléa modifications des émergences	59
15.5.2	Aléa inondation brutale	59
15.6	Synthèse de la cartographie des aléas	59
16	Conclusions	61

Mots clés : Fontienne, Forcalquier, Sigonce, Les Gaillardons, Bois-du-Roi, La Baume, aléa, effondrement localisé, affaissement, tassement, glissement, inondation, lignite

Introduction

Le bassin du Lubéron a été le siège d'un grand nombre d'exploitations minières entre 1850 et 1965. Ceci a donné lieu à l'institution d'une trentaine de concessions minières, essentiellement pour le lignite, mais également pour le bitume, le soufre et le sel.

Le bassin du Lubéron se décompose en deux sous-bassins. Le premier centré sur la pointe nord de la commune de Manosque a fait l'objet de recherches et/ou d'exploitations de gisements de lignite (14 concessions), de schistes bitumineux (5 concessions), de soufre (3 concessions) et de sel (concession de Passaïre). Le second, objet de la présente mise à jour, situé à une quinzaine de kilomètres au nord, est centré sur la commune de Sigonce. De taille plus modeste (5 concessions), ce sous bassin a fait l'objet d'exploitations de gisements de lignite. Les 5 concessions du sous-bassin de Sigonce se répartissent sur les territoires de 3 communes : Fontienne, Forcalquier (nord commune¹) et Sigonce.

De 2004 à 2007, à la demande de la DRIRE de Provence-Alpes-Côte-D'azur (aujourd'hui DREAL) et par l'intermédiaire du Pôle Après-Mine Sud, Geoderis a réalisé les premières études des aléas sur les anciennes concessions minières du Bassin du Lubéron. Deux de ces études menées en 2007 concernaient le sous-bassin de Sigonce (cf.[1]²et [2]).

Parmi les phénomènes évalués, plusieurs types de mouvements de terrain ont été retenus :

- l'effondrement localisé ;
- l'affaissement ;
- le glissement sur les ouvrages de dépôt ;
- le tassement sur les ouvrages de dépôt.

Les niveaux d'aléas ont été évalués de faible à moyen pour ce qui concerne l'effondrement localisé et faible pour les autres types d'aléa. Une partie des aléas miniers relatifs aux effondrements localisés de niveau moyen recouvrait, dans le sous-bassin de Sigonce, 16 bâtiments d'habitations qui ont été identifiés à risque potentiel de niveau moyen à fort.

Dans ce contexte, la DREAL de Provence-Alpes-Côte-D'azur et par l'intermédiaire du Pôle Après-Mine Sud, a sollicité Geoderis pour l'étude des Risques pour les communes concernées. L'étude réalisée entre 2013 et 2015, a nécessité la réalisation d'un complément de phase informative (consultation d'archives et enquêtes de terrain) ainsi que des travaux de reconnaissances (sondages) à proximité des enjeux identifiés comme potentiellement à risque. Les conclusions de l'étude ont permis d'écarter ou de réduire significativement l'aléa « effondrement localisé » (en termes de niveau et/ou d'emprise) et le risque pour les 16 habitations concernées (cf. [4]).

Cette étude conduit à la mise à jour de la cartographie informative et des aléas des communes trois communes du sous-bassin de Sigonce (Fontienne, Forcalquier (nord commune) et Sigonce). Afin de faciliter le porté à connaissance des aléas, la DREAL a demandé une édition des cartes informatives et des aléas pour les trois communes du sous-Bassin de Sigonce s'appuyant sur un document autoporteur synthétisant l'ensemble des études réalisées.

Ce rapport présente ainsi cette synthèse. Il se conclut par le rendu actualisé des cartes informatives et des aléas par commune dont les fonds topographiques ou photographiques géoréférencés utilisés sont les fonds IGN dont la BD Ortho[®] IGN (prise de vue de 2009).

¹ Le sud de la commune concernée par le sous-bassin minier de Manosque, ne présente pas de travaux miniers à son aplomb (cf. § 5.5).

² Référence en fin de document, chapitre bibliographie.

1 DEFINITIONS ET METHODOLOGIE

1.1 Définitions de l'aléa et du risque

L'**aléa** est un concept qui correspond à l'éventualité qu'un phénomène d'intensité qualifiable ou quantifiable, se produise sur un site donné. Dans le domaine du risque minier comme dans celui du risque naturel, l'aléa résulte du croisement de l'intensité d'un phénomène redouté et de l'éventualité de sa survenance (cf. figure 1).

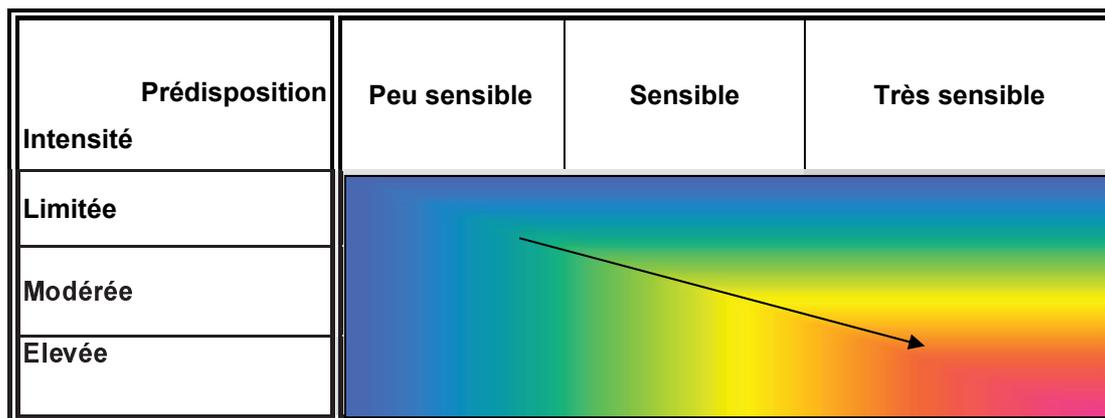


Figure 1 : Grille de croisement Intensité /Prédisposition (cf. [4])

L'aléa est hiérarchisé. On utilise les termes « **aléa fort** », « **aléa moyen** » et « **aléa faible** ». Cette hiérarchisation peut signifier :

- que les zones concernées par l' « aléa fort » sont davantage prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones d'« aléa moyen » ou d'« aléa faible » ;
et/ou,
- que les phénomènes susceptibles de se produire dans les zones d' « aléa fort » sont d'un niveau plus élevé que dans les zones d' « aléa moyen » ou d' « aléa faible ».

Une zone de risque est définie comme la partie de la zone d'aléa dans laquelle se trouve un enjeu en surface (habitation, infrastructure...).

1.2 Incertitudes cartographiques

La première étape de l'étude d'aléa, appelée « phase informative » consiste entre autre, à positionner sur fond cartographique, les anciens travaux et autres éléments utiles (ouvrages débouchant au jour, indices de désordres, dépôts de surface) dans leur environnement.

Le positionnement des travaux miniers, des ouvrages et désordres qui n'ont pas été retrouvés sur le terrain est affecté d'une incertitude globale pouvant être décomposée de la manière suivante :

- Incertitude de localisation de l'ouvrage minier : elle dépend des éléments ayant mené à son positionnement. Si les ouvrages relevés sur le terrain au DGPS se voient attribuer une très faible incertitude (de quelques décimètres à quelques mètres), ceux dont la position est tirée d'anciens plans portant peu de points de repère se voient attribuer l'incertitude de ces plans.

- Incertitude liée à la reproduction du plan : par exemple, photographier un plan provoquera une incertitude plus grande que de le scanner.
- Incertitude liée à l'opération de géoréférencement du plan : elle dépend principalement de l'incertitude des points de repère utilisés pour son calage.
- Incertitude liée au choix du support cartographique : le support cartographique, la BD Ortho[®] de l'IGN dans le cas présent, de par sa précision est lui-même facteur d'une erreur de positionnement indépendante des ouvrages miniers. Elle est estimée à 3 m pour la BD Ortho[®] de l'IGN.

Ces incertitudes sont incluses dans les **marges** prises en compte pour la cartographie des aléas. En effet, la cartographie de l'aléa lié à un élément minier intègre l'extension du phénomène ainsi que l'incertitude globale décomposée ci-dessus.

1.3 Méthodologie mise en œuvre

Les différentes investigations ont été réalisées dans le cadre méthodologique retenu pour les études des anciens sites miniers, conformément aux textes réglementaires. Le déroulement de l'étude des aléas s'appuie donc sur la démarche établie dans le guide méthodologique d'élaboration des plans de prévention des risques miniers (cf. [5]). La réalisation d'une étude des aléas comprend deux phases successives, qui se traduisent chacune par un ou plusieurs documents cartographiques :

- **Une phase informative**, présente la synthèse des données minières, le repositionnement des travaux dans leur environnement et les éléments utiles et nécessaires à l'évaluation des aléas résiduels (géologie, hydrogéologie, indices de désordres...), l'ensemble s'appuyant sur une enquête de terrain. Le produit de cette phase est une **carte informative**, positionnant les différents éléments sur la BD Ortho[®] de l'IGN.
- **Une phase d'évaluation et de cartographie de l'aléa**. Sur la base des données acquises lors de la phase informative, les différents phénomènes potentiellement envisageables, compte tenu de la nature des travaux, sont étudiés et évalués à la lumière des paramètres spécifiques au site. Enfin, l'enveloppe des zones affectées par les différents aléas est reportée sur fond cartographique.

PHASE INFORMATIF

2 CONTEXTE ET PERIMETRE DE L'ETUDE

Le Bassin du Lubéron a été le siège d'un grand nombre d'exploitations minières entre 1840 et 1965. Ceci a donné lieu à l'institution d'une trentaine de concessions minières dont 5, octroyées pour l'exploitation du lignite, constituaient le sous-bassin de Sigonce (cf. tableau 1 et figure 2). L'essentiel de la production de ce sous-bassin a été réalisé sur les concessions de Gaillardons et Sigonce.

La Baume	Lignite	29/09/1845	Insignifiante	05/01/1927	Grattages à partir de 2 galeries	Forcalquier
Bois-du-Roi	Lignite	21/09/1845	1000 à 1500 t	Orpheline	Exploitation d'une couche de 20 à 30 cm par 5 galeries DADT de Janvier 1998 (cf. [8])	Fontienne et Forcalquier
Fontienne	Lignite	16/02/1844 (13/02/1836 ?)	Inconnue	21/03/1961	Exploitation d'une couche de 10 à 20 cm par 6 galeries	Fontienne et Sigonce
Les Gaillardons	Lignite	01/01/1838	1 300 000 t	01/01/1963	Réunion des mines de Sigonce et des Gaillardons le 08/02/1924	Forcalquier et Sigonce
Sigonce	Lignite	01/01/1838		01/01/1963	Exploitation d'une couche, d'une épaisseur utile de 80 cm.	Sigonce

Tableau 1 : Principales caractéristiques des concessions du sous-bassin minier de Sigonce

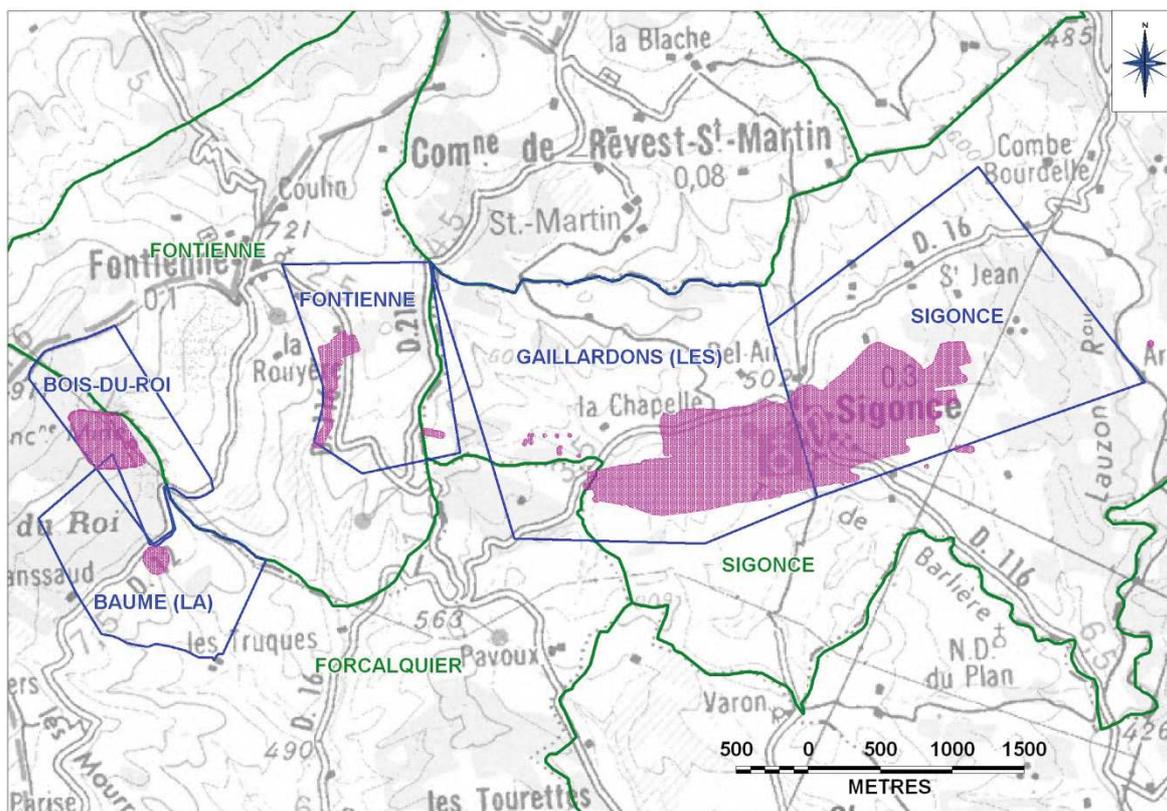


Figure 2 : Périmètre de l'étude des aléas sous fond SCAN100® IGN (en bleu les concessions, en vert les communes, en rose l'emprise des travaux miniers)

3 TRAVAUX REALISES ET DEMARCHE ADOPTEE

Dans le cadre des études des aléas du sous-bassin de Sigonce, les données d'exploitations et cartographiques de base étaient issues des dossiers d'archives du Service des Mines (disponibles à la DREAL), des Archives Départementales, les Archives Nationales ou encore du BRGM.

En parallèle, des visites du site en surface ont été effectuées, de manière à :

- lever et observer la nature et l'état des ouvrages débouchant en surface (galeries, descenderies et puits) ;
- lever et observer et caractériser les désordres anciens et, le cas échéant, nouveaux en surface, liés à des instabilités minières déjà connues ou non.

Par ailleurs, la rencontre de personnalités locales ainsi que les mairies avait permis de compléter les données recueillies dans les documents d'archives pour un certain nombre d'anciens accès à la mine et de désordres liés aux anciens travaux.

Pour préciser les risques, un complément d'informations avait pour objectifs de :

- réduire l'incertitude de calage des travaux miniers par rapport à la surface dans les secteurs à enjeux ;
- apprécier la nature et la qualité géomécanique des terrains de recouvrement de ces exploitations minières ;
- établir autant que possible (par sondages depuis la surface) un nouvel état des lieux géotechnique des travaux miniers, en se focalisant sur les zones d'enjeux à risque potentiel moyen et fort : appréciation de l'état des cavités, des mécanismes d'instabilité observés ou potentiels

Outre le complément de phase informative, les investigations suivantes ont été réalisées :

- réalisation de sondages destructifs (18) et carottés (3) totalisant 367 mètres linéaires ;
- auscultation des 7 vides francs sur les 11 cavités rencontrées par caméra et laser (vide hors d'eau) ;
- valorisations des sondages pour les caractéristiques géologiques et géotechniques des terrains de recouvrement des cavités ;

L'ensemble de ce travail est formalisé sous un Système d'Information Géographique (SIG) élaboré sous le logiciel MapInfo®. Il a conduit, en 2015 (cf. [3]), à une réévaluation des aléas en termes d'emprise et/ou de niveau au droit des secteurs investigués.

4 SYNTHÈSE DU CONTEXTE GÉOLOGIQUE, GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DU SOUS-BASSIN DE SIGONCE

Les couches de lignite, affleurantes à Sigonce, font parties de séries fluviolacustres datant du Stampien supérieur qui appartiennent au flanc nord du synclinal de Forcalquier (cf. figure 3). Précisément, on distingue trois niveaux de lignite (du haut vers le bas) : la couche de la Chapelle, située 20 m au toit de la couche de Sigonce, se trouvant elle-même à une centaine de mètres de la couche de la Chaux (cf. figure 4).

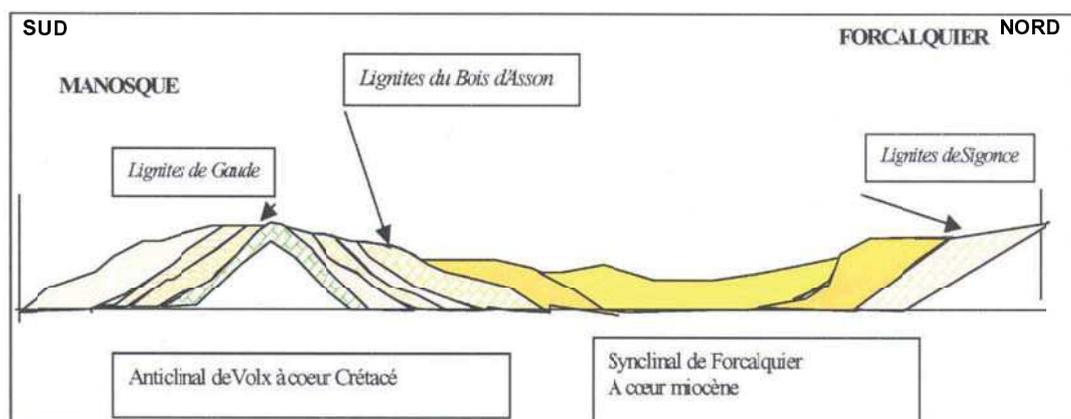


Figure 3 : Coupe géologique synthétique du Bassin du Lubéron (d'après [2])

La couche de Sigonce, qui a été la principale exploitée, a une puissance totale de 1,1 m et une puissance utile de 80 cm. Les couches de Sigonce et la Chapelle affleurent à Sigonce selon un axe orienté globalement est-ouest. Ces couches pendent en direction du sud avec un angle compris entre 8° et 12°.

La couche de Sigonce est globalement régulière et son extension est rarement interrompue. Les terrains de recouvrement sont constitués d'une alternance de marnes et calcaires mal différenciés. D'après l'observation des affleurements réalisés par le BRGM, les formations marno-calcaires et calcaires marneux se superposent depuis le début de l'Oligocène jusqu'au Miocène sans laisser de traces morphologiques bien individualisées.

Vers l'ouest, le lignite s'amenuise. Une seule couche qui n'excède pas 20 à 30 cm d'épaisseur est exploitée au niveau des concessions de Fontienne et Bois de Roi. Le lignite devient insignifiant au-delà sur la concession de La Baume où il n'a fait l'objet que de quelques grattages à partir de deux galeries de recherche.

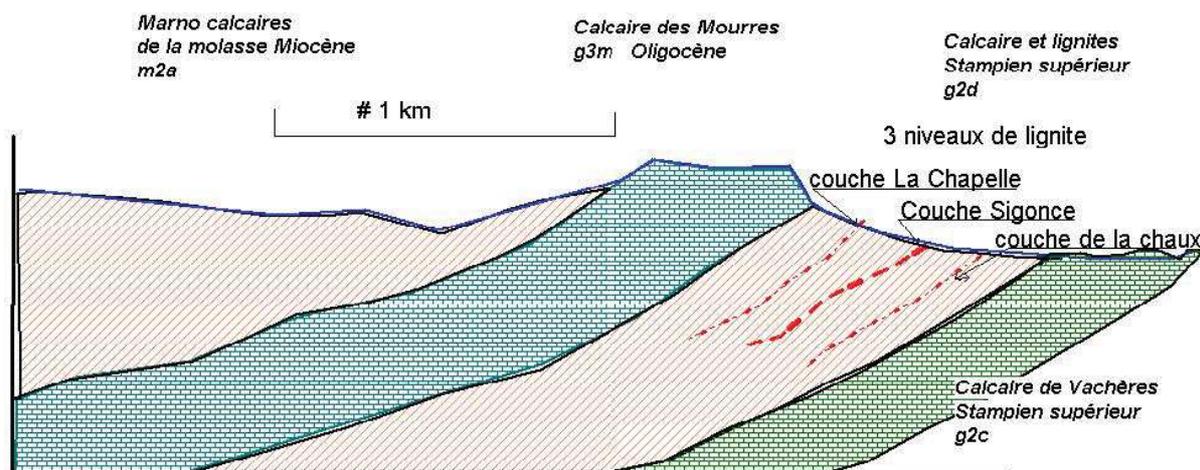


Figure 4 : Coupe géologique de la concession de Sigonce (d'après [2])

Les travaux sont envoyés jusqu'à la cote + 468 m NGF à Sigonce qui correspond au départ de la galerie d'écoulement dans les travaux miniers. Le débit d'exhaure estimé est de 100 m³/h après une période pluvieuse et 36 m³/h en période estivale pour la galerie d'écoulement à Sigonce. Les sondages réalisés en 2014 sur la commune de Sigonce ont confirmés que les travaux situés au-dessus de la cote de la galerie d'écoulement étaient hors d'eau.

Par ailleurs, dans le Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux de la concession de Bois-du-Roi (cf. [8]), il est mentionné un écoulement d'eau de faible débit en sortie de la galerie n° 3, capté dans un réservoir servant d'abreuvoir à moutons. Avant son foudroyage, la sortie de galerie aurait été busée permettant d'assurer la continuité de cet écoulement.

5 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DES TRAVAUX MINIERS REALISES

5.1 Mine de Sigonce et des Gaillardons

L'extraction du lignite a été réalisée selon deux méthodes d'exploitation. Dès 1871, le lignite était extrait en abandonnant des piliers au sein du gisement pour maintenir le toit. Les vides laissés étaient alors très souvent remblayés par les stériles présents au fond, qui, quand ils étaient surabondants étaient remontés en surface. Les largeurs des piliers variaient de 3 m (piliers longs) à 5 m (piliers carrés) et les galeries de 1,5 à 3,5 m.

A partir de 1924, l'exhaure s'organise et l'exploitation par chambres et piliers peut se poursuivre sous le niveau hydrostatique qui se situait à 24 m de profondeur au puits de la Bascule (niveau - 24). Jusqu'en 1935, l'exploitation par chambres et piliers en tailles montantes se poursuit, les travaux atteignent le niveau - 40. Au cours de cette première période d'exploitation, les dimensions des piliers laissés en place sont variables, allant de 2 m à 5 m de côté. Les chambres présentent quant à elles des largeurs comprises entre 5 et 6 m. Le stérile extrait est décrit comme largement insuffisant pour assurer un remblayage complet. Des murs en pierres sèches sont montés.

Après 1935 (entre le niveau - 40 et niveau - 107 correspondant au dernier niveau exploité) , pour des questions de rentabilité, cette méthode traditionnelle fût abandonnée au profit d'une technique permettant l'exploitation totale du gisement : la méthode des longues tailles chassantes par foudroyage dirigé. Cette technique consistait à extraire le lignite entre deux voies (galeries) l'une de tête et l'autre de base. Le front de taille qui s'étendait entre ces deux voies était protégé par un soutènement. Au fur et à mesure de l'avancement dans la couche, le soutènement était avancé, provoquant le foudroyage du toit derrière lui. L'exploitation par cette technique fût menée jusqu'à une profondeur de 160 m au plus.

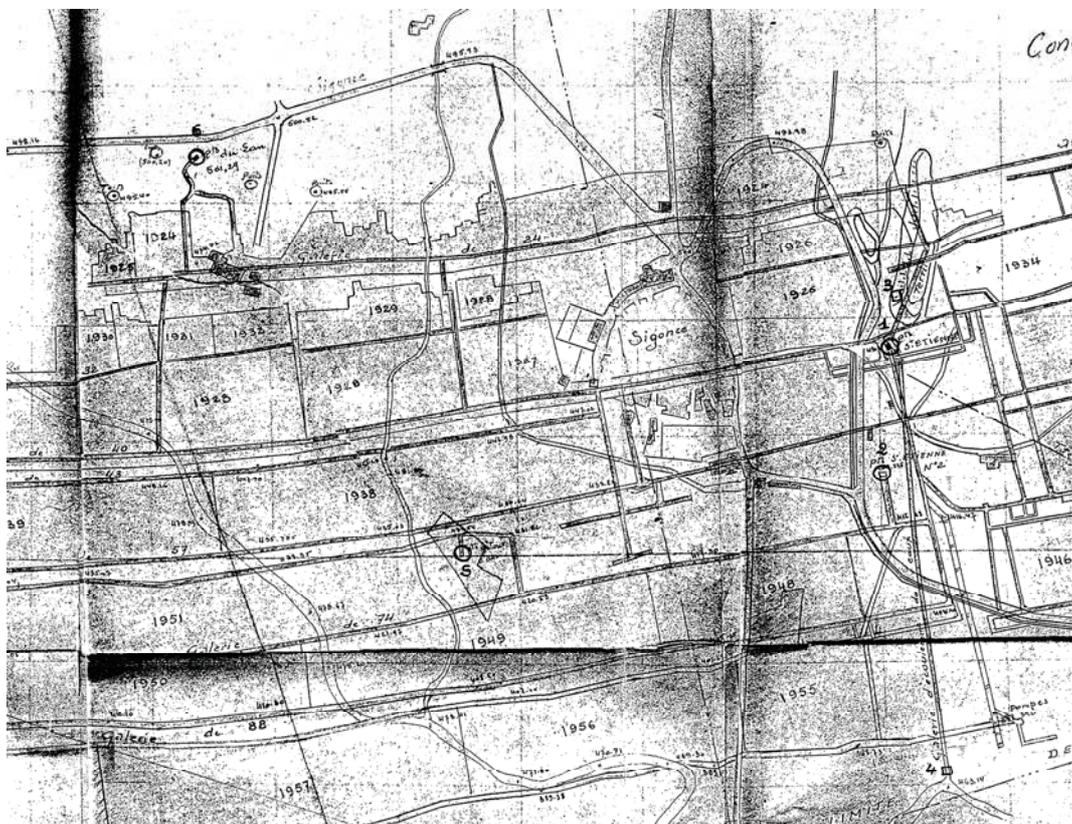


Figure 5 : Extrait d'un plan d'exploitation de la mine de Sigonce et des Gaillardons

5.2 Concession de Fontienne

Sur la concession de Fontienne, la puissance de la couche de lignite exploitée varie entre 10 cm et 20 cm selon les documents de 1922. Son exploitation a été menée en rive gauche de la Longière (Ravin de Beuveron – flanc ouest de la colline des Blaches) à partir de 5 galeries creusées à l’affleurement de direction globale N40° et de pendage de 13° vers le sud-est (cf. figure 6). Ces galeries débouchaient dans des quartiers d’exploitations menées approximativement entre 1870 et 1900. Le plan des travaux indiquent 5 quartiers : les quartiers des Anciens, quartier de Reyne (1873-1881), du Guigou (1882-1884), de Belhomme (1884-1890) et de Ferrero. Aucune information n’a été retrouvée sur les méthodes d’exploitation. Néanmoins, il est probable que la méthode employée fut celle des chambres et piliers abandonnés, à l’image des exploitations menées à la même période sur les concessions de Sigonce et de Bois-du-Roi.

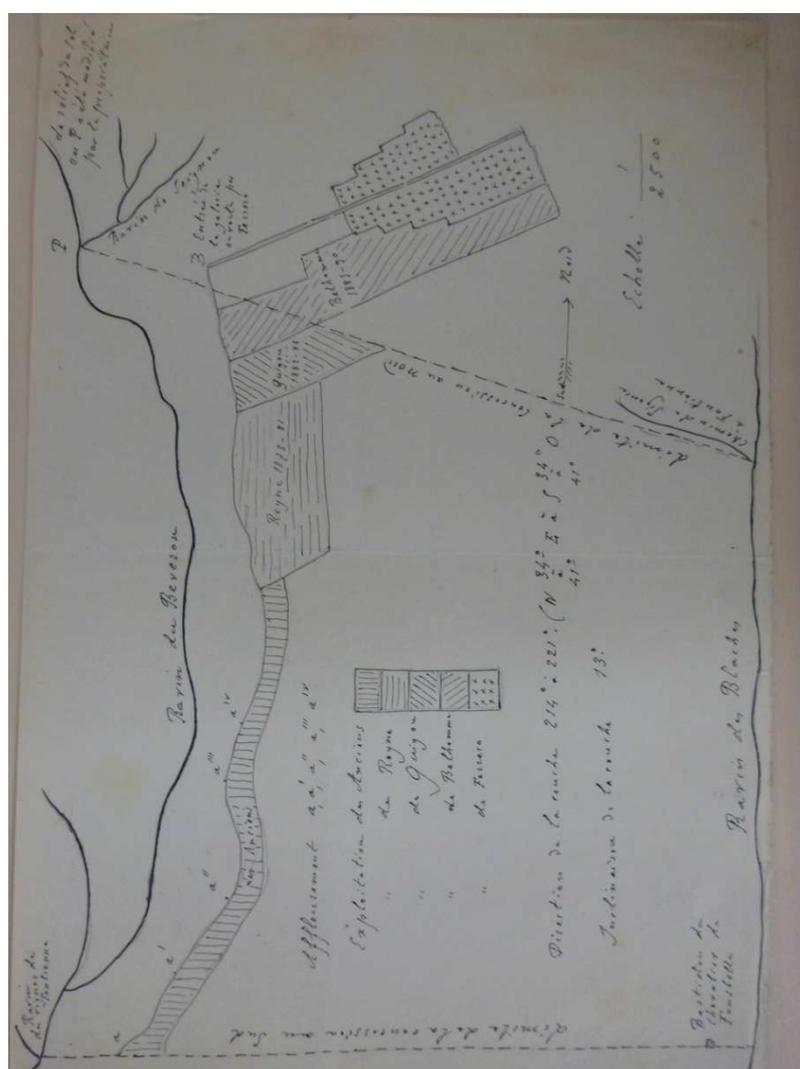


Figure 6 : Plan d’exploitation de Fontienne Ravin de Beuveron

Par ailleurs, une sixième galerie est cartographiée sur le plan de la concession de Fontienne. Elle se situe à l’est des travaux précédents, sur le flanc est de la colline des Blaches et concerne probablement le même affleurement (globalement à la même cote). Il s’agirait d’une galerie de recherche n’ayant pas abouti à une réelle exploitation.

5.3 Concession de Bois-du-Roi

Sur la concession de Bois-du-Roi, les travaux, un peu plus importants que sur Fontienne, partent de la rive ouest du ravin des Avaranches, à la cote + 750 m NGF, pour s'enfoncer sous le relief. La zone exploitée s'étend sur 250 m du nord au sud et sur 300 m d'est en ouest. Les travaux se sont déroulés entre 1845 et 1948, de manière intermittente et non mécanisée. La couche de lignite de 20 à 30 cm de puissance a été exploitée par intervalles réguliers d'une centaine de mètres, au toit de 5 galeries foncées à flanc de coteau, délimitant des panneaux d'exploitation (cf. figure 7). Celle-ci était menée par chambres et piliers abandonnés, suivi de remblayage pour une production totale comprise entre 1000 et 1500 tonnes de lignite. Les chambres étaient de 5 m de large et 1,2 m de hauteur. Elles étaient ensuite remblayée sur 3 m à l'aide des stériles de creusement (banc calcaire marneux de 0,95 m d'épaisseur). Les 2 m restants restaient ouverts. Les 2 m restants restaient ouverts.

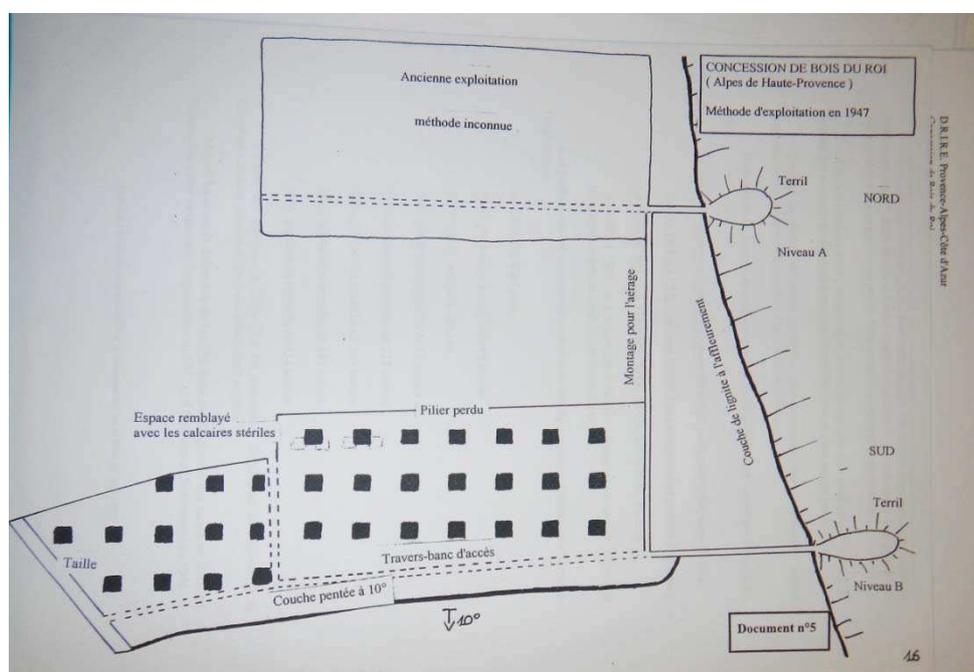


Figure 7 : Schéma d'exploitation du Bois-du-Roi entre deux galeries.

Les épontes avaient toujours une bonne tenue et le remblayage était suffisant pour permettre d'éviter tout problème de tenue du toit.

Il est également répertorié des travaux à ciel ouvert menés sous la forme d'une tranchée (appelé tranchée n°6) située au nord de la galerie n°5. D'après les plans du Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux (DADT), cette tranchée mesurait environ 200 m de long pour 20 m de large. Sa profondeur est inconnue.

5.4 Concession de La Baume

Sur la concession de La Baume, seuls des grattages à partir de deux galeries sont recensés, en tête du ravin de la Baume, à la cote + 600 m NGF.

5.5 Synthèse par commune des exploitations

Les 3 communes couvertes par les 5 concessions du sous-bassin de Sigonce présentent des travaux miniers pour lignite. Le tableau suivant synthétise les travaux miniers recensés pour les 3 communes concernées.

Remarque : A noter que la commune de Forcalquier (pointe sud) est également concernée par les concessions pour lignite de Dauphin et Villeneuve appartenant au sous-bassin de Manosque. Néanmoins, ces dernières ne présentent pas de travaux miniers à l'aplomb de la commune de Forcalquier.

	Manosque	Dauphin	Lignite	Néant
		Villeneuve	Lignite	Néant
Forcalquier	Sigonce	La Baume	Lignite	Travaux de recherche
		Bois de Roi	Lignite	Travaux de recherche et d'exploitation
		Les Gaillardons	Lignite	Extrémité ouest de la mine de Sigonce et des Gaillardons
Fontienne		Lignite	Travaux de recherche et d'exploitation	
Fontienne		Bois de Roi	Lignite	Néant
		Les Gaillardons	Lignite	Travaux d'exploitations de la mine de Sigonce et des Gaillardons
Sigonce	Sigonce	Lignite		

Tableau 2 : Synthèse des travaux miniers recensés pour les 3 communes concernées du sous-bassin de Sigonce

6 ETAT DES CONNAISSANCES DU BASSIN

L'état des connaissances fourni ci-après se base sur les phases informatives réalisées dans le cadre des études détaillées des aléas de 2007 (cf. [1] et [2]) actualisées par les observations menées sur les sites concernés par l'inventaire des dépôts réalisés par Geoderis dans le cadre de la Directive sur les Déchets de l'Industrie Extractive (DDIE) entre 2012 et 2014 (cf. [6]) et par l'étude des risques réalisée en 2015 (cf. [3]).

6.1 Ouvrages débouchant au jour

Au total, sur l'ensemble du sous-bassin de Sigonce, 60 ouvrages débouchant au jour (puits, cheminée d'aération, descenderies, entrées de galeries) ont été recensés. On dénombre, 36 puits ou cheminées, 3 descenderies et 21 entrées de galeries.

Parmi ces ouvrages, 7 ont été matérialisés sur le terrain. Les autres ont été localisés après géoréférencement des plans de mines issus des archives consultés.

Sur les sites d'exploitation, les fermetures des ouvrages débouchant au jour ont été réalisées à la fin des travaux ou postérieurement à la demande des services de l'Etat. Le tableau fourni en annexe 1 liste l'ensemble des caractéristiques, utiles à l'évaluation des aléas, des ouvrages débouchant au jour recensés.

6.2 Dimensions et état géotechnique des travaux miniers

Les reconnaissances par sondages apportent des précisions sur les dimensions des travaux et leur état géotechnique.

Les secteurs investigués sur la commune de Sigonce sont au nombre de 3 :

- secteur du Lan (ouest du bourg) :
- secteur Centre : la Charité, le Roy, les Avaranches (centre nord du bourg) :
- secteur de la galerie d'écoulement (sud-est du bourg).

Sur l'ensemble des secteurs, ont été forés 3 forages carottés et 18 sondages destructifs, totalisant 367 mètres linéaires.

Ces sondages ont permis de recouper 11 cavités (3 sur le secteur du Lan et 7 sur le secteur Centre village et 1 sur le secteur de la galerie d'écoulement). Sur ces 11 cavités, 7 ont présenté un vide franc, tous hors d'eau, permettant leur auscultation par laser et caméra vidéo. Les 4 autres cavités ont été trouvées quasi totalement obturées (remblayées ou éboulées partiellement).

Les vides recoupés correspondent aux anciennes exploitations de lignite au droit des secteurs urbanisés du Centre Sigonce (lieux-dits La Charité, les Avaranches et Le Roy) et du hameau du Lan. De même, un sondage a recoupé la galerie d'écoulement au sud-est du village. Les travaux et la galerie d'écoulement ont été rencontrés aux profondeurs attendues (entre 8 et 20 m selon la position du sondage vis à vis des exploitations ou des galeries recherchées). Les auscultations des vides rencontrés montrent des dimensions des travaux (hauteur de 1 m et largeur de 3 à 5 m) conformes voire plus faibles que les descriptions issues des archives. L'absence de remblayage est également globalement confirmée. Les images vidéo et les levés laser des cavités rencontrées montrent par ailleurs qu'elles sont dégradées (chutes de toit, piliers écrasés, éboulements, cf. figures 8, 9 et 10).



Figure 8 : Panorama 360° d'un des vides auscultés au droit du secteur du Lan

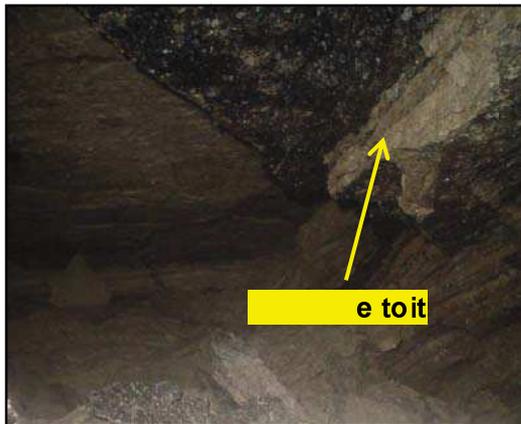


Figure 9 : Exemples de chutes de toit observées au droit du secteur Centre Sigonce



Figure 10 : Panorama 360° d'un des vides auscultés au droit du secteur Centre Sigonce

6.3 Désordres

Une évaluation pertinente des aléas passe par un inventaire des évènements passés. Lors des phases informatives, peu de désordres ont été recensés sur le sous-bassin de Sigonce. Tous sont de type « mouvements de terrain » et répertoriés sur la mine de Sigonce et des Gaillardons.

Durant la période d'exploitation, les archives mentionnent des venues d'eau importantes dans les travaux miniers consécutifs à des éboulements au fond. En particulier, à la suite de grandes pluies en février 1927, la galerie d'évacuation des eaux de Sigonce s'éboule dans sa partie basse. Les eaux emplirent tous les orifices de la mine au-dessus du niveau 40 obligeant l'arrêt de l'exploitation pendant deux mois

Dans la période post extractive, on relève quatre effondrements répartis sur les concessions des Gaillardons et de Sigonce.

Le premier, en 1979, au droit d'un ancien bure³ (section carré de 2 x 2 m) le long de la CD 116 la sortie de Sigonce, dans le sens Manosque-Cruis. L'effondrement aurait atteint 7 m de diamètre pour 8 m de profondeur.

Le deuxième, en 1993, au lieu-dit « la cheminée », s'est produit en bordure de route départementale n° 16 (RD16) lors de pluies diluviennes. D'après le témoignage du propriétaire, le cratère béant a été comblé, mais s'est ré-ouvert en 1995 suite encore à des pluies. Ce désordre se situe au niveau du puits Timon. Il y a été réalisé un remblayage recouvert par une dalle, elle-même recouverte de terre. En 1996 et 1998, de légers mouvements de terrains (nature ?) se seraient produits à proximité du puits Timon.

Le troisième, non daté, correspond à l'effondrement du puits n° 22. D'après le témoignage du propriétaire, le cratère de plusieurs mètres de diamètre et de profondeur aurait été comblé.

Le quatrième, en 2014, au lieu-dit « le Lan », s'est produit en bordure de la RD16 consécutivement à de fortes pluies (cf. figure 11). L'effondrement faisait 3 à 4 m de diamètre pour 2 m de profondeur. L'expertise menée par Geoderis a conclu à l'origine minière de ce désordre (cf. [6]) . Cet effondrement correspondait à l'éboulement des travaux miniers très proches de la surface (voisinage de l'affleurement de la couche de lignite) dans ce secteur. A noter qu'une mesure à l'aide d'un MULTIWARM DRÄGER a montré un léger dégagement de CO₂ de l'ordre de 1 % en fond de cratère. Le désordre a été comblé par les services de l'Etat.



Figure 11 : Fontis apparu en novembre 2014 au bord de la RD16 sur la commune de Sigonce

6.4 Les dépôts : Verses et terrils

Trois dépôts ont été recensés au niveau de la mine de Sigonce et des Gaillardons. Leur hauteur a été estimée à une dizaine de mètres chacun. Les deux premiers sont superposés à proximité du puits de la Bascule. Ils sont de couleur rouge traduisant la combustion partielle ou totale des produits charbonneux le composant. Ils sont végétalisés. Le dernier terril (n° 3) a fait l'objet d'un achat de terrain dans les années 1930. Il se trouve à quelques 250 m à l'est-sud-est du puits Saint-Étienne 1, auquel il était relié par des rails sur lesquels progressaient les wagonnets transportant le stérile. Ce dépôt correspond également un terril de couleur rouge et présente une pente de 30 à 40°.

³ Puits intérieur ne débouchant pas en surface

Sur la concession du Bois du Roi, cinq dépôts ont été recensés en sortie des 5 galeries d'accès aux travaux du ravin de Beuveron. Peu volumineux, ces dépôts sont essentiellement constitués de stériles de creusement.

Sur les concessions de Fontienne et La Baume, aucun dépôt n'a été recensé.

6.5 Eléments relatifs au gaz de mine

Le grisou (méthane) a été reconnu pour la première fois le 7 avril 1927 dans la mine de Sigonce et des Gaillardons, mais n'a jamais provoqué d'accidents. Seuls des indices de « bulles » de méthane dans l'eau sont signalés dans les archives. Sur les concessions du Bois-du-Roi, Fontienne et La Baume, il n'est pas mentionné de problèmes de grisou dans les archives. A Bois-du-Roi, l'éclairage se faisait sans difficulté par lampe à feu nu.

Par ailleurs dans le cadre des reconnaissances complémentaires de 2015, il a été constaté de légers dégagements de CO₂ (1 %) par les sondages ainsi que sur l'effondrement de 2014 comblé le long de la route départementale n° 16, montrant la présence d'air désoxygéné dans les travaux.

6.6 Eléments relatifs aux incendies

Aucun incendie n'est mentionné dans les gisements pendant les exploitations. Seuls quelques indices lors du transport sont signalés dans les archives de la mine de Sigonce et des Gaillardons ajoutés à l'observation de la combustion des stériles rouges constituant les trois terrils recensés.

6.7 Impacts environnementaux

Les données sur les aspects environnementaux sont très rares sur le sous-bassin de Sigonce. Seules quelques données relatives à la qualité des eaux aux exhaures ont été recensés dans les archives. On citera l'exemple de Bois-Du-Roi, où les eaux en sortie de la galerie n° 2 présentaient en 1998 un pH de 7,7, une conductivité de 700 µS/cm et un potentiel rédox de + 255 mV (cf. [8]).

Par ailleurs, un inventaire national des dépôts charbonniers, réalisé dans le cadre de la Directive sur les Déchets de l'Industrie Extractive (DDIE), a été mené entre 2012 et 2014 (cf. [6]).

7 CARTOGRAPHIE INFORMATIVE

Par souci de cohérence et afin de synthétiser l'ensemble des informations disponibles, la carte informative est à l'échelle 1/5 000. Elle est établie, par commune, et comprend :

- le fond représenté par la BD ORTHO[®] de l'IGN (PVA de 2009) ;
- les limites des concessions ;
- les limites des communes ;
- les affleurements des couches minéralisées ;
- l'emprise des travaux d'exploitation ;
- les travaux d'exploitations (galeries et chantiers) définies par substance et niveaux exploités ;
- les ouvrages débouchant en surface (puits, descenderies et entrées de galeries) en précisant s'ils sont matérialisés ou localisés (cf. remarque ci-après) ;
- les désordres, dépôts et tranchées recensés.

Remarque : les définitions cartographiques des ouvrages débouchant au jour ont été homogénéisées par la circulaire ministérielle du 6 janvier 2012 (NOR : DEVP1134619C) relative à la prévention des risques miniers résiduels, à savoir :

- un ouvrage « matérialisé » : *ouvrage qui a effectivement été retrouvé en surface et dont les coordonnées ont pu être relevées au GPS ou dGPS ;*
- un ouvrage « localisé » : *ouvrage qui n'a pas été retrouvé sur le terrain mais dont les coordonnées sont connues (archives ou exploitant) et comportant une incertitude de positionnement.*

Les cartes informatives par commune sont présentées en annexe 4 du présent document. Une version numérique au format PDF et JPG est également fournie sur CD.

Les éléments reportés sur les cartes informatives et d'aléas sont disponibles sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) établi sous un environnement MAPINFO 8.5[®]. Le système de coordonnées est le France Lambert 93. Les fichiers numériques composant ce SIG sont également fournis sur support informatique.

7.1 Incertitudes de localisation

L'affichage de l'aléa lié à un élément minier intègre l'extension du phénomène, l'incertitude de localisation intrinsèque de l'ouvrage ou du secteur de travaux concerné et une incertitude propre au support cartographique.

L'incertitude de localisation relative à l'ouvrage minier dépend des éléments ayant mené à son positionnement. Si les ouvrages relevés sur le terrain au GPS se voient attribuer une très faible incertitude (de quelques décimètres à quelques mètres), ceux dont la position est tirée d'anciens croquis portant peu de points de repère se voient attribuer l'incertitude du plan dont ils sont issus. A ceci doit s'ajouter l'incertitude liée à la reproduction du plan. En effet, photographier un plan provoquera une incertitude plus grande que de le scanner.

Le support cartographique (SCAN 25[®] IGN, photogrammétrie, BD Ortho[®] IGN) de par sa précision est lui-même vecteur d'une erreur de positionnement indépendante des ouvrages miniers. Elle est de l'ordre de 20 m environ pour le SCAN 25[®] IGN, et estimée à 3 m pour la BD Ortho[®] IGN.

7.1.1 Incertitudes sur la position des ouvrages débouchant au jour

L'incertitude globale des ouvrages débouchant au jour retenue est prise égal à 5 m pour ceux matérialisés et levés au GPS sur le terrain. Le puits Saint-Etienne 1 levé au dGPS présente une incertitude de 3 m (cf. annexe 1). En revanche, les autres ouvrages qui ne sont plus visibles à ce jour ont été positionnés à l'aide des plans miniers géoréférencés. Suivant l'incertitude de calage des plans miniers (cf. ci-après), une marge d'incertitude de 10 à 20 m est appliquée sur ces ouvrages.

7.1.2 Incertitudes de localisation des travaux miniers souterrains

L'incertitude de calage des travaux souterrains est évaluée entre 10 et 20 m suivant les sites d'exploitation.

Mine de Sigonce et des Gaillardons

Compte tenu de la bonne qualité des plans miniers et du nombre importants d'ouvrages débouchant, l'incertitude de calage des travaux souterrains est évaluée à 10 m. Les investigations menées en 2015 (cf. [3]), n'ont pas permis d'affiner cette incertitude, à l'exception de celle de la galerie d'écoulement. En effet, l'essentiel des travaux sondés, à l'exception de cette galerie, correspondaient à d'anciennes exploitations (1845 - 1924) peu profondes (entre l'affleurement de la couche de lignite et la galerie de niveau - 24) et non cartographiées précisément sur les plans miniers. Ces dernières y sont au maximum représentées que par de grands aplats hachurés sans plus de détail.

Seule la position de la galerie d'écoulement a pu être affinée par les sondages. Son incertitude de localisation est de l'ordre de 3 m.

Exploitations de Bois-du-Roi

En l'absence de plan minier, il est impossible de définir une valeur d'incertitude de localisation des travaux de Bois-du Roi. En revanche, à partir de la position des entrées de galeries localisables sur le terrain par l'intermédiaire des dépôts encore visibles à chaque sortie complétée des descriptions des travaux dans les archives écrites (PV de visites, etc.), une zone potentiellement affectée par les travaux miniers a pu être tracée avec une assez bonne précision.

Exploitation de Fontienne

Le dessin des galeries et des exploitations de Fontienne ainsi que le report des éléments de surface (rivières, ravins, routes, chemins, habitations) sur les plans dont les échelles sont petites (entre le 1/10 000 et 1/50 000) est peu précis. Ces plans s'avèrent ainsi difficilement géoférencables et la précision de localisation des travaux a été évaluée à 20 m.

7.1.3 Incertitude de localisation des affleurements de la couche de lignite exploitée

A l'image des travaux d'exploitations la position des affleurements de la couche de lignite exploitée est évaluée à 20 m. Néanmoins, grâce aux levés géologiques des sondages et en tenant compte de la topographie du site, le tracé de l'affleurement de la couche de lignite exploitée à Sigonce a pu être précisé entre le secteur du hameau du Lan et le centre bourg de Sigonce l'y amenant à une précision estimée à 10 m.

PHASE D'ÉVALUATION DES ALÉAS

8 LISTE DES PHENOMENES

L'étude des aléas est réalisée selon le guide méthodologique (cf. [4]) validé par l'administration et est conforme aux textes réglementaires qui précisent notamment la nature des aléas et risques pris en compte.

Les informations rassemblées lors de la phase informative permettent d'identifier les différents aléas qui seront à retenir pour la deuxième phase de l'étude. D'après les connaissances acquises, la rétroanalyse effectuée sur d'autres bassins miniers très similaires et des travaux de modélisation, les scénarii accidentels ont été examinés pour en déterminer les intensités potentielles, les crédibilités de survenance et évaluer, ainsi, les niveaux d'aléas qui leur incombent.

9 IDENTIFICATION DES PHENOMENES RETENUS ET ECARTES

Sur la base des informations synthétisées aux paragraphes précédents (connaissance des travaux souterrains, de leur organisation et des désordres notamment), une première identification des phénomènes potentiellement redoutés et ceux qui peuvent raisonnablement être écartés, est possible.

9.1 Phénomènes écartés

9.1.1 Effondrement généralisé

Un effondrement généralisé, également appelé effondrement en masse, se manifeste par la rupture, souvent dynamique, de tout ou partie d'une exploitation affectant ainsi la stabilité des terrains sur des surfaces importantes. Il se traduit par l'apparition d'un effondrement d'assez grande dimension aux bords fracturés, sub-verticaux, délimitant des « marches d'escaliers ».

Pour ce faire, les conditions suivantes sont généralement requises :

- existence d'exploitation partielle au taux de défruits élevé, de volumes de vides importants et la présence de configurations d'exploitation sensibles (piliers sous-dimensionnés, présentant un fort élancement ou exploitation multi-niveaux avec mauvaise superposition des piliers)
- schéma d'exploitation homogène et uniforme ;
- recouvrement présentant un (ou des) horizon(s) raide(s), capable(s) de reprendre tout ou partie du poids des terrains de surface en le reportant sur les bords fermes, ce qui soulage (temporairement) les piliers et autorise indirectement, une exploitation excessive et un sous-dimensionnement des piliers.

Dans le cas des exploitations partielles de Sigonce, la prédisposition à ce type de phénomène a été évaluée. L'analyse des données disponibles a conduit à écarter ce phénomène (cf. [1]) en raison de deux critères :

- l'absence de bancs suffisamment raides dans le recouvrement marno-calcaires. Ceci a été confirmé par les trois sondages carottés réalisés sur la commune de Sigonce. Le recouvrement est constitué d'alternances de bancs peu épais (0,2 à 0,5 m) de calcaires marneux ou ligniteux et de marnes localement très argileuses (cf. [7]) ;
et/ou ;
- l'absence de bords fermes qui aurait autorisé la rupture en cisaillement des bancs du toit le long de ces mêmes bords.

Compte tenu de ces éléments, les phénomènes d'effondrements localisés ou d'affaissement sont privilégiés en cas de rupture d'un pilier ou plusieurs piliers ou du toit des chambres d'exploitations (voir paragraphes suivants).

9.1.2 Echauffement

L'ampleur limitée des travaux souterrains hors d'eau limite fortement les phénomènes d'autocombustion du lignite en souterrain. De plus, aucune information relative à la combustion du lignite sur le site n'a été relevée dans les archives.

L'aléa ne serait à envisager que pour les seuls terrils. Il s'agit d'évaluer la capacité de combustion de la fraction charbonneuse au sein de ces terrils qui pourrait engendrer des incendies et émanations de gaz. Or, les observations ont montré que les terrils ont brûlés. Dans ces conditions, seul un incendie pourrait éventuellement activer une combustion de la faible portion charbonneuse susceptible de rester mais cette hypothèse reste peu probable. Ces éléments ont ainsi conduit à écarter le phénomène d'échauffement sur le sous-bassin de Sigonce.

9.1.3 Gaz de mine

S'agissant d'exploitations de lignite, il est possible que le gaz présent dans les anciens vides miniers se compose de méthane, dioxyde de carbone ... Le phénomène redouté correspond à une remontée jusqu'en surface de gaz de mine accumulé dans le vide minier. Si lors de l'exploitation, ces gaz sont dilués et évacués par la ventilation, à l'arrêt de l'exploitation, ils peuvent s'accumuler dans les vides miniers, sous réserve qu'ils ne soient pas ennoyés totalement et que le réservoir potentiel soit suffisamment volumineux. Ces gaz de mine peuvent, sous certaines conditions, rejoindre la surface. Cette migration nécessite la possibilité de liaisons avec la surface via des ouvages ou la fracturation des terrains, mais aussi la présence d'un moteur (production de gaz par le gisement ou son encaissant par exemple). Dans le cas présent, le moteur le plus susceptible de générer des émissions de gaz est le tirage thermique qui, pour produire des flux significatifs, nécessite un réservoir suffisamment important d'air désoxygéné et un dénivelé suffisant entre les entrées et les sorties potentielles de gaz. Lorsque l'ensemble de ces paramètres est respecté, les émissions de gaz peuvent se faire de façon privilégiée au travers d'anciens ouvrages reliant les travaux souterrains à la surface (puits, descenderies, galeries d'accès, sondages ...) si ceux-ci sont non ou mal obturés, mais aussi au travers des terrains de recouvrement.

Bien que du gaz est été mentionné lors de l'exploitation, aucune archive disponible ne répertorie le sous-bassin de Sigonce comme grisouteux. Sur les concessions de Fontienne et de Bois-du-Roi, les procès-verbaux de visite indiquent que l'éclairage à Bois-du-Roi se faisait par lampe à feu nu sans accident relatif au grisou.

Les seuls travaux susceptibles de constituer un réservoir dans le sous-bassin de Sigonce sont les exploitations non ennoyées⁴ de la mine de Sigonce et des Gaillardons. Il s'agit des travaux situés au-dessus de la galerie de niveau - 24 qui draine les eaux d'infiltration jusqu'à leur émergence à la galerie d'écoulement. Le volume de ce réservoir (estimé à 75 000 m³) et la dénivelité topographique du secteur (10 à 20 m localement 30 m) ne sont pas suffisants pour engendrer un tirage thermique significatif.

Quelques mesures réalisées in situ, sur la mine de Sigonce et des Gaillardons n'ont détectées qu'un air enrichi en CO₂ (1%) en sortie de sondages débouchant dans les travaux non ennoyés et dans le cratère de l'effondrement de 2014. De plus, les mesures effectuées à la sortie de la galerie d'écoulement et en tête du puits Saint-Etienne 2 n'ont pas permis de détecter d'émission de gaz ayant une composition différente de celle de l'air ambiant.

L'ensemble de ces éléments d'analyses conduit à ne pas retenir d'aléa gaz sur le sous-bassin de Sigonce.

⁴ Sur la mine de Sigonce et des Gaillardons, les nombreuses venues d'eau dans la partie ouest et la forte corrélation des débits d'exhaure avec les épisodes pluvieux marquent une bonne connexion entre la surface et le fond.

Néanmoins, la présence d'air désoxygéné au sein des travaux et en particulier dans la zone non ennoyée, est à garder en mémoire en cas de terrassements importants ou en cas de réalisation de forages. Par ailleurs, elle peut également présenter un risque corporel en cas de pénétration dans les travaux, comme toute cavité non ventilée.

9.2 Phénomènes retenus

9.2.1 Effondrement localisé

L'effondrement localisé se traduit en surface par l'ouverture d'un fontis en forme de cratère ou d'entonnoir, généralement circulaire. Ils peuvent se produire à l'aplomb de deux types de travaux miniers :

Les puits

L'effondrement localisé est généré par le débouillage ou coulissage des remblais au sein de la colonne du puits et/ou la rupture de la tête de puits.

Les galeries isolées et/ou les zones de travaux situées à faible profondeur

La phase informative a révélé un certain nombre d'éléments qui conduisent à retenir l'effondrement localisé comme phénomène possible, à savoir :

- la présence de vides miniers à des profondeurs comprises entre 0 à 50 m (tous secteurs de travaux confondus) ;
- l'existence de désordres observés dans des secteurs de travaux ;
- la nature des terrains du toit constitué de calcaires potentiellement karstifiés et fissurés.

Dans ces conditions, le phénomène d'effondrement localisé ne peut pas, a priori, être écarté. Une étude plus argumentée est nécessaire.

9.2.2 Affaissement

L'affaissement minier se manifeste par un réajustement, généralement souple, des terrains de surface induit par l'éboulement de cavités souterraines au sein de vides résiduels résultant de l'extraction du minerai. Ce type de manifestation concerne généralement les exploitations menées à grande profondeur et sur des extensions horizontales importantes. Il peut s'agir d'exploitations totales (où la fermeture des vides est provoquée) mais également partielles (où la fermeture des vides peut être accidentelle). Dans le cas des exploitations totales, les affaissements en surface se stabilisent en général quelques années après l'arrêt des exploitations.

L'aléa affaissement a été retenu pour évaluation au droit des secteurs exploités par chambres et piliers de Sigonce en raison d'un éventuel écrasement progressif à terme des piliers et d'une déformation souple du recouvrement.

En revanche, l'aléa affaissement n'a pas été retenu comme un aléa possible au droit des secteurs exploités par tailles foudroyées, car même si une dépression de la surface du sol a été recensée à proximité du cimetière de Sigonce :

- les tailles ont été réalisées, il y a plus de 30 ans et les affaissements progressifs se produisent généralement dans les quelques années qui suivent l'arrêt de l'exploitation pour ce type de travaux ;

- aucune remobilisation des terrains foudroyés n'est à attendre, car :
 - les conditions hydrauliques (niveaux d'eau dans les travaux) sont stables (débordement permanent constaté) ;
 - les éventuelles surcharges de surface ne seront pas en mesure de perturber les terrains foudroyés situés à une profondeur minimale d'environ 30 m (le bulbe de contrainte induit par une surcharge surfacique s'atténue rapidement avec la profondeur⁵)

9.2.3 Mouvements de pente

Seuls les trois terrils liés à la mine de Sigonce et des Gaillardons sont suffisamment importants (volume et hauteur) pour potentiellement subir des mouvements de pente. Ces terrils sont constitués par des matériaux déversés sans vraisemblablement avoir été compactés ultérieurement. Ces matériaux bien qu'ayant acquis une certaine cohésion avec le temps, en particulier où ils ont brûlé, ne permettent, à priori, pas d'exclure que des glissements superficiels se produisent le long des pentes des terrils.

En revanche, ces caractéristiques et les dimensions des terrils (hauteur n'excédant pas 10 m) ont permis d'y exclure le phénomène de glissement en grand (profond).

9.2.4 Tassement

Les matériaux constituant les terrils du sous-bassin de Sigonce ont été déversés sans vraisemblablement avoir été compactés ultérieurement. Ces matériaux meubles sont susceptibles de se compacter sous l'action d'une surcharge extérieure (bâtiments par exemple). Ainsi, l'aléa tassement a donc été considéré au droit de l'ensemble des terrils recensés.

9.2.5 Inondation

Selon le guide méthodologique (cf. [4]), les phénomènes liés à l'ancienne activité minière qui peuvent être à l'origine d'inondations sont multiples :

- la modification du régime des émergences ;
- l'apparition de zones détrempées ou de marécages ;
- l'inondation des sous-sols et des points bas ;
- la modification du régime des cours d'eau ;
- les inondations « brutales ».

Dans le cas du sous-bassin de Sigonce, seule la mine de Sigonce et des Gaillardons est potentiellement concernée par l'aléa inondation compte tenu des volumes d'eau drainés par la galerie d'écoulement. Actuellement, le niveau piézométrique au sein des anciens travaux miniers est stabilisé. Il se situe autour d'une cote moyenne de + 468 m NGF. Cette stabilisation est la conséquence du débordement des réservoirs miniers par la galerie d'écoulement à Sigonce.

⁵ le calcul de la répartition des contraintes sous une semelle filante de 1 m révèle qu'à 30 m, la surcontrainte ne représente plus qu'2% de la surcharge de surface.

Cependant cet équilibre hydrodynamique pourrait être rompu en cas d'apparition d'un fontis au toit des galeries d'exhaure. Un « bouchon » constitué des matériaux éboulés pourrait se créer, empêchant l'évacuation des eaux et conduisant à la montée du niveau d'eau en amont dans les anciens travaux miniers.

Le niveau d'eau remonterait alors dans les anciens travaux jusqu'à atteindre un nouveau point d'exhaure à condition que les apports demeurent. Il a été nécessaire d'envisager l'aléa modification des émergences car de nouvelles émergences pourraient alors apparaître, mais également un aléa de type inondation brutale pouvant résulter de l'évacuation soudaine du bouchon présent dans la galerie.

9.3 Aléas non évalués

9.3.1 Pollution des eaux et sols

L'exploitation de gisement minier peut faire redouter la présence éventuelle d'éléments indésirables tels des métaux dans les eaux et les sols à proximité immédiate des ouvrages miniers et des dépôts observés et/ou recensés.

Un inventaire national des dépôts charbonniers, réalisé dans le cadre de la Directive sur les Déchets de l'Industrie Extractive (DDIE), a été mené entre 2012 et 2014 (cf. [6]). A ce jour, aucune étude environnementale n'est programmée sur ces dépôts.

9.3.2 Emission rayonnements ionisants

L'aléa lié aux émissions de rayonnements ionisants n'a pas été évalué mais est à garder en mémoire même si ici l'encaissant est calcaire. On notera que cet aléa n'est pas spécifiquement minier compte tenu de la substance exploitée (pas d'exploitation de minerai d'uranium). Le cadre de la prise en compte de cet aléa sort du cadre de la mission de GEODERIS.

10 EVALUATION DE L'ALEA EFFONDREMENT LOCALISE

10.1 Description du phénomène

Un effondrement localisé correspond à une rupture des terrains qui ne concerne qu'une zone d'extension limitée à quelques mètres en surface. L'apparition des effondrements localisés en surface est brutale et n'est généralement pas accompagnée d'indices précurseurs visibles. C'est l'effet « pont de neige ». En effet, le phénomène d'effondrement localisé est causé par l'instabilité locale d'une cavité souterraine. Cette instabilité se propage alors au travers des couches situées au-dessus. Lorsqu'elle atteint les formations altérées et non cohésives les plus superficielles, ces dernières rompent soudainement ce qui crée un cratère en surface. Les matériaux impliqués sont donc déplacés et déstructurés de manière importante. La figure 12 schématise les processus possibles à l'origine de ce type de phénomène.

La vitesse de propagation de l'éboulement souterrain varie selon la nature des terrains mais elle est généralement lente. Pour analyser la possibilité d'une apparition en surface, deux conditions doivent être analysées :

- la stabilité des cavités qui se créent au cours de la progression du phénomène ;
- la possibilité d'un autocomblement de la cavité du fait de l'augmentation de volume des matériaux entre leur état « en place » et leur état « effondré ». Ce phénomène d'augmentation de volume est aussi appelé foisonnement.

En général, pour la majorité des massifs, l'altération et la fracturation augmentent lorsqu'on se rapproche de la surface. La stabilité d'une excavation de dimension équivalente est donc souvent moindre lorsqu'on se rapproche de la surface. Toutefois, la présence de couches compétentes ou ayant des propriétés spécifiques peut stopper la propagation de l'effondrement.

Le foisonnement des matériaux géologiques est un phénomène connu. Il n'est cependant pas mesuré de manière systématique et il n'existe aucun standard reconnu pour sa détermination. Le phénomène d'auto-comblement est donc difficile à évaluer de manière rigoureuse, mais on admet le plus souvent que la probabilité d'apparition d'un fontis en surface diminue (à cavité de dimension égale) avec la profondeur de la cavité. Pour des cavités de grandes dimensions, comme des chantiers non remblayés par exemple, elles peuvent créer des fontis même si elles sont situées à des profondeurs avoisinant les 50 mètres. Pour les galeries isolées de dimensions habituelles (de 6 à 12 m² de section), les retours d'expérience permettent de limiter la hauteur de remontée d'un fontis jusqu'en surface.

S'il existe des approches basées sur l'évaluation naturaliste des coefficients de foisonnement, elles doivent également s'appuyer sur l'observation d'un nombre suffisant d'instabilités, survenues dans les mêmes conditions géomécaniques pour pouvoir être validées.

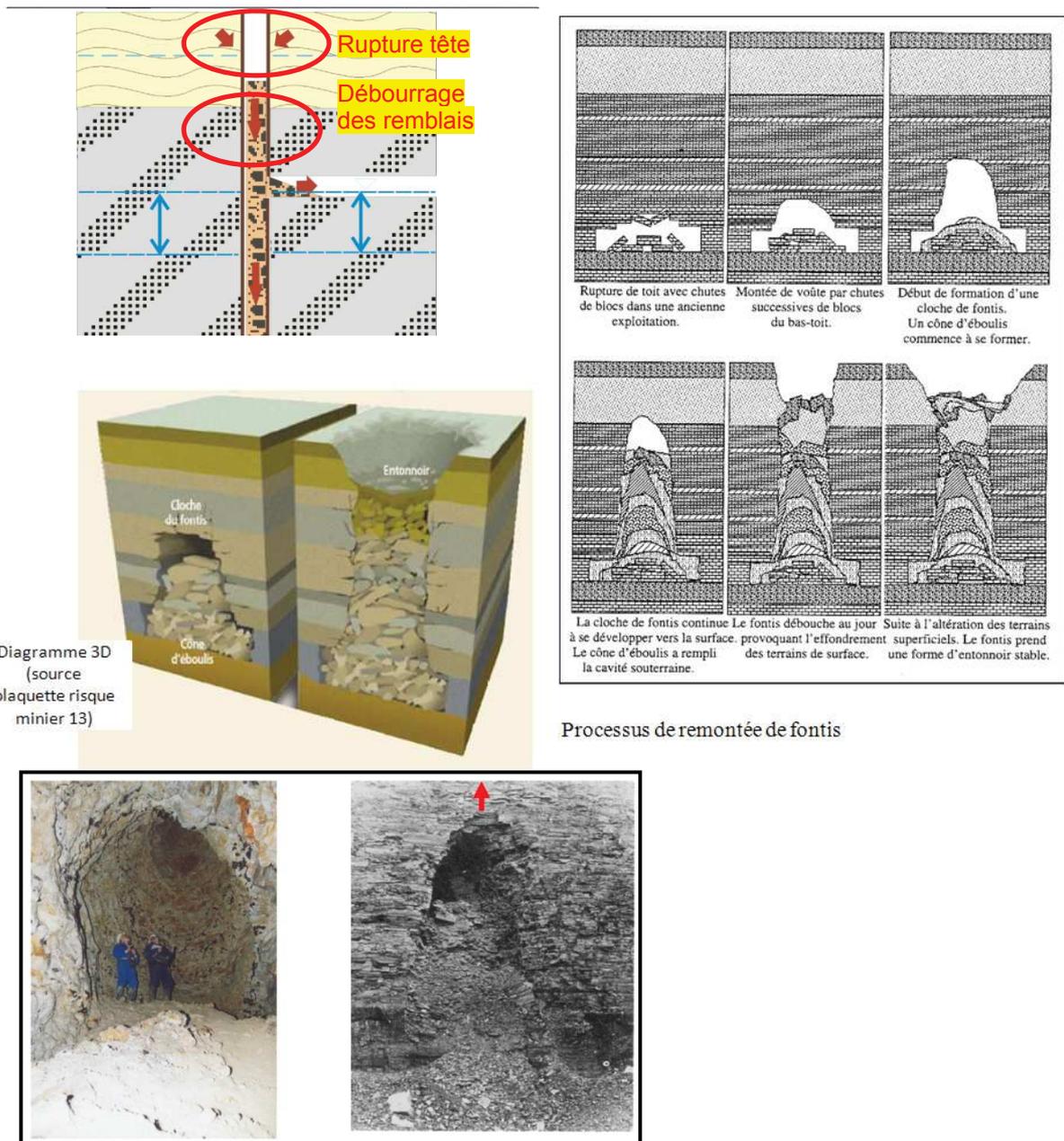


Figure 12 : Schématisations de processus à l'origine des effondrements localisés retenus

Outre l'expertise basée sur les calculs de stabilité et les observations du site étudié, l'analyse s'appuie à ce jour sur des guides méthodologiques d'évaluation des aléas et en particulier sur l'aléa « effondrement localisé » (cf. [10] et ([11]), rédigés sur la base des retours d'expérience d'études dans tous les contextes miniers et sur l'ensemble du territoire français.

10.2 Zone d'altération superficielle

La zone d'altération superficielle correspond aux terrains à très faible cohésion et donc facilement mobilisables, susceptibles d'être immédiatement affectés par une instabilité.

L'épaisseur de la zone d'altération superficielle est un paramètre déterminant pour les dimensions des désordres potentiels, elle est donc importante pour l'estimation de l'intensité du phénomène d'effondrement localisé. L'intensité du phénomène d'effondrement localisé est définie à partir du diamètre du cratère susceptible d'apparaître au jour.

Les investigations par sondages destructifs et carottés (cf. [7]) ont permis de constater que les terrains non cohésifs de surface (sols, roches pulvérulentes et/ou remblais) ne dépassent pas 2 m d'épaisseur. Ainsi l'épaisseur de matériaux d'altération sans cohésion et faiblement foisonnants de surface est prise à 2 m au maximum pour l'ensemble des secteurs concernés par l'aléa effondrement localisé.

10.3 Evaluation de l'aléa

Sur le sous-bassin de Sigonce, il est distingué trois mécanismes initiateurs susceptibles d'engendrer un phénomène d'effondrement localisé :

- l'effondrement localisé relatif aux galeries isolées (par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie). C'est le phénomène de « fontis » ;
- l'effondrement localisé relatif aux zones d'exploitations par rupture de pilier(s) isolé(s) ou du toit des chambres exploitées ;
- l'effondrement localisé consécutif au déboufrage d'un puits et/ou à la rupture de sa tête.

10.3.1 Effondrement localisé lié aux galeries isolées

Un effondrement localisé en surface lié à une galerie est au départ causé par l'instabilité du toit de celle-ci. En effet, lorsque la voûte, initiée par la rupture du toit, ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface. Si l'espace disponible au sein des vieux travaux est suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par « auto-comblement », la voûte peut atteindre la surface et engendrer un effondrement localisé (fontis) en surface.

10.3.1.1 Evaluation de la prédisposition

Pour évaluer la prédisposition d'apparition du phénomène d'effondrement localisé relatif aux galeries isolées, il convient de prendre en compte :

- la présence de vides. Les archives disponibles et les observations par les sondages ont montré que les chantiers d'exploitation n'étaient pas totalement remblayés ce qui laisse à penser que les galeries d'accès, roulage ou écoulement ne le sont pas. En effet, l'expérience montre qu'il est très exceptionnel que le corps des galeries dites « d'infrastructures » ou travers-bancs soient remblayés à la fermeture des travaux (quelques rares cas répertoriés sur des grands bassins miniers de charbon).
- les dimensions des galeries, observées ou d'après les archives, varient selon :
 - une largeur et une hauteur comprises entre 1,8 et 2 m pour les galeries de recherches ou de niveaux de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
 - une largeur et une hauteur comprises entre 1 et 1,5 m pour la galerie d'écoulement de la mine de Sigonce et des Gaillardons
 - une largeur de 1,7 m et une hauteur comprise entre 1,8 et 2 m pour les galeries de recherches ou de niveaux des concessions de Bois-du-Roi et Fontienne ;
- la nature et l'état géotechnique de l'encaissant. Les galeries ont été creusées au rocher dans les formations marno-calcaires qui contenait la couche de lignite exploitée. Ces formations s'avèrent évolutives à long terme (sensibles à l'eau). Dans ce contexte, la roche s'altère, devient mécaniquement moins résistante. Par ailleurs, ces formations ne contiennent pas de banc raide susceptible de s'opposer à la montée de voûte d'un éboulement.

Bien qu'aucun désordre répertorié ne soit attribuable aux galeries isolées, ces éléments ne permettent pas d'y écarter le phénomène d'effondrement localisé.

La remontée d'une cloche de fontis par dégradation des terrains au-dessus d'une galerie peut se poursuivre tant que le foisonnement n'a pas permis de combler le vide disponible dans celle-ci. Sur ce principe, et sans tenir compte d'un éventuel remblayage des galeries, un calcul basé sur une approche volumique déterministe s'attachant à la hauteur de remontée de cloche de fontis est réalisé (cf. annexe 2). En comparant cette hauteur à l'épaisseur du recouvrement, il est possible de déterminer si l'effondrement apparaîtra en surface ou non.

Les résultats des calculs indiquent qu'il est très peu probable qu'un fontis initié au sein d'une galerie débouche au jour si le recouvrement est supérieur à (cf. annexe 2) :

- 25 m pour les galeries de recherches ou d'infrastructures (niveaux et écoulement) de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
- 20 m pour la galerie d'écoulement de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
- 20 m pour les galeries de recherches ou de niveaux des concessions de Bois-du-Roi, Fontienne et La Baume.

Au-delà, lorsque les galeries s'approfondissent, leur auto comblement permet d'écarter ce phénomène.

Dans les gammes de profondeurs retenues, les niveaux de prédisposition à l'effondrement localisés sont définis en fonction de la profondeur de la galerie. Selon le retour d'expérience et les valeurs statistiques (cf. annexe 4), il est retenu :

- pour les galeries de recherches ou d'infrastructures (hors galerie d'écoulement, cf. ci-après) de la mine de Sigonce et des Gaillardons, un niveau de prédisposition :
 - sensible au droit des portions de galerie situées entre 0 et 20 m de profondeur ;
 - peu sensible au droit des portions de galerie situées entre 20 et 25 m de profondeur ;

Remarque : la galerie de roulage de niveau - 24 est la seule galerie d'infrastructure (hors galerie d'écoulement) de la mine de Sigonce et des Gaillardons située à moins de 25 m de profondeur. Sachant qu'elle ne se situe nulle part à moins de 20 m de profondeur, le niveau de prédisposition y est retenu à peu sensible sur ces portions comprises entre 20 et 25 m de profondeur.

- pour la galerie d'écoulement de la mine de Sigonce et des Gaillardons, un niveau de prédisposition :
 - sensible au droit de la portion de la galerie située entre 0 et 10 m de profondeur ;
 - peu sensible au droit de la portion de la galerie située entre 10 et 20 m de profondeur.
- pour les galeries de recherches ou de niveaux des concessions de Bois-du-Roi, Fontienne et La Baume, un niveau de prédisposition :
 - sensible au droit des portions de galerie situées entre 0 et 15 m de profondeur ;
 - peu sensible au droit des portions de galerie situées entre 15 et 20 m de profondeur.

10.3.1.2 Evaluation de l'intensité

L'intensité du phénomène d'effondrement localisé est définie à partir du diamètre du cratère susceptible d'apparaître au jour. Ce cratère est issu de « l'évasement » d'une colonne vide débouchant en surface. La dimension de la section de cette colonne est directement liée à la largeur des travaux et la nature des matériaux de surface.

Parmi les principaux facteurs susceptibles d'influer sur la grandeur du diamètre de l'effondrement, on retient : la dimension des vides résiduels au sein des travaux souterrains (volume) ainsi que l'épaisseur des terrains non cohésifs de surface lorsqu'elle est connue (à défaut c'est l'estimation de l'épaisseur des terrains altérés et fracturés qui est considérée) dont le rôle est prépondérant sur les dimensions de l'entonnoir d'effondrement.

Le tableau suivant définit les classes d'intensité retenue dans l'évaluation de l'aléa « effondrement localisé ».

Limitée	$\varnothing < 3 \text{ m}$
Modérée	$3 \text{ m} < \varnothing < 10 \text{ m}$
Elevée	$\varnothing > 10 \text{ m}$

Tableau 3 : Classes d'intensité de l'aléa « effondrement localisé » (cf. [4])

Compte tenu de la largeur des vides observés, le rayon maximal de cloche de fontis à court terme atteindra de 1 à 1,5 m maximum. Le diamètre d'un fontis, à long terme, par évasement des terrains non cohésifs de surface (épaisseur prise égale à 2 m et en y considérant un angle de talus de 45°) pourrait alors atteindre 5 à 6 m maximums.

Ces différentes constatations amènent à considérer l'intensité du phénomène redouté comme *modérée*, conformément à la classification adoptée, à l'exception de la galerie d'écoulement dont les faibles dimensions conduisent à retenir une intensité de niveau *limité*.

10.3.1.3 Evaluation du niveau d'aléa

Par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité retenus, les niveaux d'aléa « effondrement localisé » sur galeries isolées ont été retenues :

- pour les galeries de recherches ou d'infrastructures (hors galerie d'écoulement, cf. ci-après) de la mine de Sigonce et des Gaillardons, à un niveau :
 - *moyen* au droit des portions de galerie de recherche situées entre 0 et 20 m de profondeur ;
 - *faible* au droit des portions de galerie de recherche situées entre 20 et 25 m de profondeur ;
 - *faible* au droit des portions de galerie de niveau – 24 situées entre 20 et 25 m de profondeur.

- pour la galerie d'écoulement de la mine de Sigonce et des Gaillardons, à un niveau faible au droit de la portion de la galerie située entre 0 et 20 m de profondeur ;
- pour les galeries de recherches ou de niveaux des concessions de Bois-du-Roi, Fontienne et La Baume, à un niveau :
 - moyen au droit des portions de galerie situées entre 0 et 15 m de profondeur ;
 - faible au droit des portions de galerie situées entre 15 et 20 m de profondeur.

10.3.2 Effondrement localisé lié aux exploitations

Le phénomène d'effondrement localisé lié aux exploitations par chambres et piliers abandonnés prend son origine par la rupture du toit consécutivement à :

- l'éboulement d'une chambre d'exploitation (même mécanisme que dans le cas des galeries isolées), ou ;
- la rupture de pilier(s) isolé(s) entre deux chambres d'exploitation.

Dans le cas du sous-bassin de Sigonce, ce phénomène concerne à priori les exploitations en chambres et piliers abandonnés de la mine de Sigonce et des Gaillardons et des concessions de Bois-du-Roi et Fontienne.

L'évaluation de cet aléa dépend des mêmes critères que pour les galeries isolées, à l'exception du mécanisme par rupture de pilier(s) isolé(s) où s'ajoute en préalable la possibilité de cette rupture.

L'évaluation à la rupture de piliers est définie dans le paragraphe relatif à l'aléa affaissement (cf. § 11). Les conclusions de cette évaluation montrent que la stabilité à long terme des piliers ne peut être assurée au-delà de 24 m de profondeur.

Ainsi l'aléa effondrement localisé lié aux exploitations est évalué pour :

- l'éboulement d'une chambre d'exploitation quelle que soit sa profondeur ;
- la rupture de pilier(s) isolé(s) pour les exploitations par chambres et piliers abandonnés situés au-delà de 24 m de profondeur.

10.3.2.1 Evaluation de la prédisposition

L'évaluation de la prédisposition dépend des mêmes facteurs que pour les galeries isolées : la présence de vides, la dimension des vides et la nature et l'état géotechnique de l'encaissant. Les archives disponibles et les observations par les sondages ont montré que les chantiers d'exploitation n'étaient pas totalement remblayés. La nature et l'état géotechnique de l'encaissant étant identique au droit des exploitations, seule la dimension des vides va varier par rapport à celle des galeries isolées. En d'autres termes, étant dans les mêmes conditions que pour les galeries isolées, seule la valeur de hauteur de remontée de fontis va varier pour déterminer les niveaux de prédisposition relatifs à l'aléa effondrement localisé lié aux exploitations.

Les dimensions des vides, observés ou d'après les archives qui tiennent compte du remblayage partiel sont retenues selon :

- Cas des chambres d'exploitations sans rupture de pilier :
 - une largeur comprise entre 2 et 3 m et une hauteur de 1,1 m, pour les chambres d'exploitation du secteur centre de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
 - une largeur de comprise entre 2 et 5 m et une hauteur de 1 m, pour les chambres d'exploitation du secteur du hameau du Lan de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
 - une largeur de 2 m et une hauteur de 1,2 m pour les chambres d'exploitation de la concession de Bois-du-Roi ainsi que, par analogie, pour celles de la concession de Fontienne.
- Cas des chambres d'exploitations avec rupture de pilier :
 - une largeur comprise entre 4 et 6 m et une hauteur de 1,1 m, pour les chambres d'exploitation du secteur centre de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
 - une largeur de comprise entre 4 et 10 m et une hauteur de 1 m, pour les chambres d'exploitation du secteur du hameau du Lan de la mine de Sigonce et des Gaillardons ;
 - une largeur de 4 m et une hauteur de 1,2 m pour les chambres d'exploitation de la concession de Bois-du-Roi ainsi que, par analogie, pour celles de la concession de Fontienne.

Le calcul volumétrique permettant de définir la hauteur de remontée de voûte au toit des travaux par chambres et piliers conduit aux résultats de l'annexe 2. Les dimensions des vides aboutissent à une valeur de remontée maximale de voûte de 10 m quel que soit les configurations des mécanismes et des vides à l'exception du cas des chambres d'exploitation des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne où cette valeur atteint 15 m. Ceci est dû à la hauteur plus importante des chambres que sur la mine de Sigonce et des Gaillardons.

De plus, la possibilité de remontée de voûte jusqu'en surface apparaît écartée dans le cas d'une rupture de pilier considérant que cette rupture n'est possible qu'à partir de 24 m de profondeur.

A noter par ailleurs, que le fontis de 2014 survenu au nord du hameau du Lan a été attribué à l'effondrement d'exploitations peu profondes de la mine de Sigonce et des Gaillardons.

L'ensemble des résultats permettent de définir une prédisposition aux effondrements localisés de :

- sensible au droit des secteurs des travaux en chambres et piliers abandonnés situés à moins de 10 m de profondeur pour la mine de Sigonce et des Gaillardons et les exploitations des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne ;
- peu sensible au droit des secteurs des travaux en chambres et piliers abandonnés compris entre 10 et 15 m de profondeur pour les exploitations des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne.

Remarque : Sur la concession de La Baume une zone potentiellement affectée par des travaux miniers a été tracée à partir des deux galeries identifiés. Selon le guide méthodologique, le niveau de prédisposition pour ce type de zone où la présence de travaux est supposée, est évaluée à un niveau peu sensible.

10.3.2.2 Evaluation de l'intensité

A l'image du cas de l'effondrement localisé lié aux galeries isolées, l'intensité du phénomène d'effondrement localisé lié aux exploitations est également retenu à un niveau modéré. En effet, compte tenu des dimensions des vides des exploitations et de l'épaisseur des terrains non cohésifs de surface, le diamètre, à long terme, d'un effondrement serait du même ordre de grandeur, soit 5 à 6 m. D'ailleurs, ces valeurs sont corroborées avec le récent retour d'expérience du fontis de 2014 (cf. § 6.3)

10.3.2.3 Evaluation du niveau d'aléa

Par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité retenus, les niveaux d'aléa « effondrement localisé » sur travaux d'exploitations sont retenus de faible à moyen suivant :

- moyen au droit des secteurs des travaux en chambres et piliers abandonnés situés à moins de 10 m de profondeur pour la mine de Sigonce et des Gaillardons et les exploitations des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne ;
- faible au droit des secteurs des travaux en chambres et piliers abandonnés compris entre 10 et 15 m de profondeur pour les exploitations des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne ;
- faible au droit de la zone potentiellement affectée par des travaux miniers définie sur la concession de La Baume.

10.3.3 Effondrement localisé lié aux puits

Les effondrements localisés considérés peuvent être associés à deux mécanismes distincts : le débouillage des remblais au sein de la colonne d'un puits (ou cheminée) et la rupture de la tête.

Le débouillage des remblais au sein de la colonne d'un puits

Le remblai mis au sein de la colonne peut évoluer par compaction naturelle, remaniement en présence d'eau, ou encore comblement des vides résiduels de l'ouvrage. En fonction de la vitesse du mouvement, on peut évoquer les termes de tassement, ou de coulissage. Mais le mécanisme le plus brutal est le débouillage soudain du matériau qui migre dans les recettes ou infrastructures connectées au puits et non obturées. La rupture d'anciens planchers peut également conduire au débouillage brutal de remblais sus-jacents.

La rupture de la tête d'un puits

Pour les puits miniers dont la partie sommitale n'est pas remblayée ou a subi un mouvement de matériau de remblai, le phénomène qui peut se produire est la rupture du revêtement ou de la structure de maintien ou de fermeture mise en place en partie sommitale de l'ouvrage.

10.3.3.1 Evaluation de la prédisposition

L'aléa est évalué sur la base des facteurs de prédisposition et d'intensité présentés ci-après.

Facteurs de prédisposition au débouillage

Les facteurs de prédisposition retenus pour le débouillage sont :

- le manque de contrôle lors du remblayage, qui ne permet pas de savoir si la colonne du puits est réellement comblée sur toute la hauteur ;

- la profondeur du puits et par conséquent la capacité à la présence de vide dans la colonne, qu'il soit déjà présent ou consécutif à un débouillage ;
- le nombre de recettes, c'est-à-dire de galeries communiquant avec la colonne de puits et où, potentiellement, les remblais peuvent migrer. Un nombre élevé de recettes (4 ou 5), sans précision de traitement spécial (obturation) avant le remblayage est un facteur pénalisant ;
- le niveau piézométrique, qui est un facteur aggravant s'il n'est pas stabilisé. En effet, la remontée de l'eau dans la colonne de puits peut faciliter les écoulements de matériau dans les recettes et modifier l'organisation des remblais en déstabilisant des voûtes stables avant l'arrivée de l'eau.

Facteurs de prédisposition à la rupture de tête

Les facteurs de prédisposition retenus pour la rupture de tête de puits sont :

- la nature du revêtement. Un revêtement en bois sera plus sensible qu'un revêtement maçonné ;
- le traitement de la tête de puits. La pose d'un bouchon de béton autoportant constitue une solution pérenne pour éviter une rupture de tête contrairement à la pose d'une dalle en béton.

Les données informatives ont permis de recenser 36 puits sur le sous-bassin de Sigonce, tous sur la mine de Sigonce et des Gaillardons. Peu d'informations relatives aux puits ont été retrouvées dans les archives. En particulier, aucune donnée sur les puits de recherche ou dans l'emprise des travaux anciens (< 1924) n'a été retrouvée. Les informations disponibles sur les puits sont synthétisées dans le tableau relatif aux ouvrages débouchant au jour en annexes 1 et 3.

De manière à définir les niveaux de prédisposition à l'effondrement localisé, la première partie du tableau en annexe 3 renseigne l'ensemble des facteurs pour chaque puits. Pour chaque facteur, il est indiqué si ce facteur tend à augmenter (couleur orange à rouge), être neutre (couleur jaune) ou diminuer (couleur vert clair à vert foncé) le niveau de prédisposition.

10.3.3.2 Evaluation de l'intensité

L'intensité des effondrements localisés est directement liée au diamètre du cône d'effondrement résultant en surface. Ce cratère est issu de « l'évasement » d'une colonne vide. L'intensité de l'effondrement est principalement tributaire de la géométrie et du volume de l'ouvrage et de la nature des terrains de surface.

Remarque :

D'une manière générale, la rupture de la tête de puits peut conduire à des effondrements conséquents si le volume pouvant accepter le matériau éboulé au sein du puits et l'épaisseur des terrains meubles ou altérés permettant une extension latérale du phénomène sont importants. En revanche, bien que l'épaisseur et la nature de ces terrains jouent un rôle fondamental dans les dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface, le diamètre maximal du désordre et donc le niveau de l'intensité est atténué par le volume de la cheminée de puits, donc fonction de la dimension des puits et surtout de sa profondeur. Ici les puits sont peu profonds (de l'ordre de 20 m) mais suffisamment étroits pour que ce critère n'influe pas sur le niveau d'intensité.

Les facteurs d'intensité retenus sont :

- le diamètre des puits, qui intervient directement dans le diamètre de l'effondrement en surface et donc dans le calcul de l'intensité ;
- la présence de terrains sans cohésion en surface qui ont un effet aggravant sur les dimensions d'un effondrement en surface. Les données des sondages ont montré que ce type de terrains n'excédait pas 2 m d'épaisseur (cf. § 10.2).

Les quelques informations (6 sur 36 puits) disponibles concernant les sections des ouvrages montrent qu'ils sont rectangulaires ou carrés. La largeur et la longueur des puits d'exploitation (5 sur 6 puits) varient de 2 à 3 m. La largeur et la longueur du puits d'aération sont plus faibles, respectivement 1 et 1,6 m.

Ainsi, compte tenu de l'épaisseur des terrains non cohésifs de surface prise égale à 2 m, l'intensité est évaluée à un niveau *modéré* pour l'ensemble des puits. Ce niveau d'intensité apparaît conforme aux effondrements de puits passés sur la mine de Sigonce et des Gaillardons, en particulier pour le puits 22 à Sigonce où un effondrement localisé d'un diamètre de 7 m s'est produit.

10.3.3.3 Evaluation du niveau d'aléa

Par croisement de la prédisposition et de l'intensité, les niveaux d'aléa effondrement localisé retenus pour les puits varient de *faible à moyen*. Le niveau d'aléa par puits est présenté en annexe 3.

11 EVALUATION DE L'ALEA AFFAISSEMENT

11.1 Description du phénomène

L'affaissement se manifeste par un réajustement des terrains de surface induit par l'éboulement de cavités souterraines résultant de l'extraction du minerai. Les désordres, dont le caractère est généralement lent, progressif et souple, prennent la forme d'une dépression topographique qui présente une allure de cuvette (cf. figure 13), sans rupture cassante importante (des fractures ouvertes sont possibles dans la zone en extension, située sur la bordure de l'affaissement).

Les exploitations concernées par les affaissements possèdent généralement quatre points communs : exploitation dite « partielle » en plateure à faiblement pentée où des vides sur des superficies importantes ont été maintenus, grande profondeur (valeur dépendant du contexte mais en général une centaine de mètres au moins), extensions horizontales importantes (ratio largeur exploitée / profondeur) et recouvrement capable de se déformer de manière « souple » sur des amplitudes importantes.

L'amplitude maximale de l'affaissement est directement proportionnelle à l'ouverture des travaux souterrains. Le coefficient de proportionnalité dépend notamment de la profondeur des travaux, de la méthode d'exploitation (défruitement) et de traitement des vides (remblayage). Dans la majorité des cas, les amplitudes maximales observées sont d'ordre décimétrique à métrique.

Généralement, ce ne sont pas tant les déplacements verticaux qui affectent les bâtiments et infrastructures de surface, que les déformations du sol (déplacements différentiels horizontaux, flexions, mise en pente, etc.). En fonction de leur position au sein de la cuvette d'affaissement, les déplacements différentiels horizontaux peuvent prendre la forme de raccourcissements (zones en compression vers l'intérieur de la cuvette) ou d'extension (zones en traction vers l'extérieur de la cuvette).



Figure 13 : Photographie d'une cuvette d'affaissement Bray-en-Cinglais – Soumont (14)

Plusieurs configurations peuvent être à l'origine de ce phénomène :

- les exploitations totales (tout le minerai est enlevé dans les tailles), menées à moyenne ou grande profondeur et présentant des extensions horizontales importantes. Il se produit dans les cinq ans suivant l'arrêt de l'exploitation. Ce phénomène a été observé dans le cadre d'exploitations de gisements houillers (Bassin de Provence) ou ferrifères (Bassin Ferrifère Lorrain) menées par ce type de méthode (dépilages ou foudroyages) ;
- Les exploitations partielles (chambres et piliers) présentant des configurations de profondeur, d'exploitation et de pendage favorables au déclenchement de ce type de phénomène (gisements pentés avec possibilité de débousses de remblai, ou suffisamment profonds pour menacer la stabilité des piliers). C'est le cas du Bassin de May-sur-Orne.

Sur le sous-bassin de Sigonce, même si l'analyse informative ne mentionne aucun affaissement, la présence d'exploitations partielles par chambres et piliers abandonnés rend nécessaire l'évaluation de l'aléa lié à ce phénomène.

11.2 Evaluation de l'aléa effondrement affaissement

11.2.1 Mine de Sigonce et des Gaillardons

Prédisposition

Afin d'évaluer la potentialité de survenue d'un aléa de type affaissement, il est nécessaire de s'interroger sur la stabilité à long terme des piliers. Pour cela, on utilise le modèle de l'aire tributaire. Il permet d'évaluer la résistance à la rupture des piliers, en comparant les efforts qu'ils supportent à leur capacité d'y résister. Cette méthode, couramment employée, consiste à estimer la charge (ou la contrainte) que supporte chaque pilier en équirépartissant le poids des terrains de recouvrement et ensuite, à comparer cette charge à celle de la résistance ultime des piliers.

La charge (ou la contrainte) exercée sur un pilier s'exprime selon :

$$\sigma = \rho g H / (1 - \tau)$$

où :

- ρg est le poids volumique des terrains. Sa valeur est prise à 25 kN/m³ (valeur usuelle pour un recouvrement marno-calcaire) ;
- H est la profondeur de la zone exprimée en mètres ;
- τ est le taux d'exploitation appelé aussi taux de défruitement de la zone.

Les hypothèses nécessaires sont pour les exploitations de Sigonce :

- le taux de défruitement, variant ici entre 70 et 80% dans les quartiers exploités par chambres et piliers abandonnés ;
- la résistance ultime à la compression simple des piliers de charbon⁶ prise égale à 3 MPa.

⁶ cette valeur est tirée de notre expérience sur les charbons et de nombreux retours d'expérience sur des cas de rupture de piliers de charbon

Les résultats des calculs indiquent que pour un taux de défrètement de :

- 70 %, au-delà d'une profondeur de 36 m, la stabilité à long terme ne peut être assurée ;
- 80 %, au-delà d'une profondeur de 24 m, la stabilité à long terme ne peut être assurée.

Par conséquent, pour les quartiers exploités par chambres et piliers abandonnés au-delà de 24 m de profondeur, la stabilité à long terme des piliers ne peut être assurée. Le niveau de prédisposition est évalué à peu sensible en raison de l'absence d'évènement recensé.

Intensité

Les caractéristiques d'affaissement qui matérialisent les dégâts les plus dommageables pour les biens situés en surface sont les déformations différentielles horizontales et, en particulier, les mouvements de mise en pente du sol plutôt que l'affaissement maximal en lui-même. C'est pourquoi c'est ce dernier paramètre qui est choisi pour évaluer l'intensité de l'aléa affaissement. Le tableau suivant donne des valeurs indicatives des pentes qui permettent d'évaluer l'intensité du phénomène.

Très limitée	$0 < P < 1$
Limitée	$1 < P < 3$
Modérée	$3 < P < 6$
Elevée	$P > 6$

Tableau 4 : Classes d'intensité de l'aléa « affaissement »

Les effets de mise en pente (et des déformations) apparaissent sur les bords de la cuvette d'affaissement. Ils sont proportionnels à l'amplitude de l'affaissement maximum, mais d'autant plus faibles que l'exploitation est profonde (H). Ainsi, les valeurs maximum de la pente (Pm), exprimées en %, sont atteintes à l'aplomb des bords de l'exploitation selon :

$$P_m = \beta A_m / H$$

où :

- A_m est l'amplitude d'affaissement maximum exprimée en mètres ;
- H est la profondeur de la zone exprimée en mètres ;
- β est un coefficient qui dépend de la nature de recouvrement. La valeur de ce coefficient est retenue à 5, déduite des retours d'expérience effectués sur des bassins aux configurations similaires et pour son aspect sécuritaire.

L'amplitude d'un affaissement maximum au centre de la cuvette est proportionnelle, directement liée au volume de vides exploités. Elle s'exprime selon :

$$A_m = K \tau W$$

où

- W est l'ouverture exploitée ; amplitude d'affaissement maximum exprimée en mètres ;
- τ est le taux de défrètement ;
- K est un coefficient de réduction de l'affaissement dépendant de la nature du recouvrement, en particulier sa raideur, et de son épaisseur. Selon les retours d'expérience des études de bassins aux configurations similaires, il est considéré que pour des exploitations peu profondes (moins de 100 m), le coefficient K n'excède pas 0,25.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus sur le site de Sigonce, en considérant un taux de défructement de 80 %, la profondeur moyenne des exploitations de 40 m et une ouverture exploitée de 1 m.

Taux de défructement (τ)	80 %
Ouverture exploitée (W)	1 m
Affaissement maximal (A_m)	0,4 m
Profondeur (H)	40 m
Mise en pente (Pm)	5 %
Niveau d'intensité	Modéré

Tableau 5 : Valeurs des pentes d'affaissement calculées et niveaux d'intensité retenus pour l'aléa affaissement de la mine de Sigonce et des Gaillardons

Comme on le constate sur ce tableau, l'intensité du phénomène d'affaissement est retenue à un niveau modéré.

Evaluation de l'aléa

Par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité retenus, l'aléa affaissement de la mine de Sigonce et des Gaillardons est évalué à un niveau faible sur les quartiers exploités par chambres et piliers abandonnés situés à plus de 24 m de profondeur.

11.2.2 Concessions de Bois du Roi et de Fontienne

Seules les caractéristiques géométriques d'exploitation de la concession de Bois-du-Roi sont disponibles. Compte tenu de la proximité géographique des mines de Bois-du-Roi et de Fontienne et de l'exploitation de la même couche de lignite dans la même période, les caractéristiques des travaux la concession de Fontienne seront prises à l'identique que celles de la concession de Bois-du-roi.

Selon le schéma d'exploitation de Bois-du-Roi (cf. § 5.3), le taux de défructement (hors remblayage) est compris entre 85 et 90 % (piliers carrés de 2,5 à 3 m de côté pour des galeries de 5 m de large).

Considérant la même résistance ultime à la compression simple de 3 MPa prise pour la mine de Sigonce et des Gaillardons, la stabilité à long de terme des piliers des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne ne peut être assurée lorsqu'ils se situent au-delà de 15 m de profondeur.

En revanche, les galeries ont été partiellement remblayées sur 3 m de largeur, laissant des vides de 2 m de largeur pour une ouverture exploitée de 1,2 m, soit un taux de vides de 36 %. Selon le même calcul que pour le cas de la mine de Sigonce et des Gaillardons, l'affaissement (A_m) et la mise en pente (Pm) maximales attendues sont respectivement évaluées à 0,2 m et 3 % soit une intensité de niveau limité.

Tableau 6 : Valeurs des pentes d'affaissement calculées et niveaux d'intensité retenus pour l'aléa affaissement sur les concessions de Fontienne et Bois-du-Roi

Taux de vides	36 %
Ouverture exploitée (W)	1,2 m
Affaissement maximal (A_m)	0,2 m
Profondeur (H)	40 m
Mise en pente (Pm)	2,5 %
Niveau d'intensité	Limité

Ainsi, à l'image de la mine de Sigonce et des Gaillardons, l'aléa affaissement des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne est évalué à un niveau faible sur les quartiers exploités par chambres et piliers abandonnés situés à plus de 15 m de profondeur.

12 EVALUATION DE L'ALEA GLISSEMENT

Prédisposition

Lors des visites menées dans le cadre des études de 2007, aucun indice de glissement de terrain n'a été recensé. Deux des trois terrils recensés, situés à proximité du puits de La Bascule, présentent une hauteur qui n'excède pas une dizaine de mètres. De plus, ces dépôts apparaissent avoir brûlés ce qui peut leur conférer une meilleure cohésion. Cependant, l'inspection du site a révélé des pentes assez raides et peu végétalisées.

Le troisième terril, de couleur rouge, se trouvant à 250 m à l'est du puits Saint-Etienne 1, présente des pentes de 30° à 40°. De faible hauteur (inférieure à 10 m), certains flancs de ce terril apparaissent non totalement végétalisés.

Sur la base des observations, l'analyse menée en 2007 a conclu à retenir un niveau de prédisposition au glissement superficiel de « sensible » pour les trois terrils. Les phénomènes retenus consistent en des reptations, des ravinements ou glissements superficiels dits de « peau ». Il s'agit de phénomènes par nature d'intensité limitée à très limitée.

Ainsi, le croisement de la prédisposition et de l'intensité conduit à retenir un aléa glissement de niveau « faible » pour les trois terrils identifiés dans le sous-bassin de Sigonce.

13 EVALUATION DE L'ALEA TASSEMENT

Dans le cadre de l'après mine, on parle de tassements lorsque les mouvements du sol résultent de la compaction d'un massif meuble (amas de matériaux granulaires, ...).

Sous l'action de perturbations extérieures (applications de surcharge en surface par exemple) ou sous l'effet de leur propre poids, les terrains qui présentent une forte porosité peuvent être amenés à se tasser et donner naissance à des mouvements de faible ampleur en surface.

Un aléa de cette nature (mouvements du sol résultant de la compaction d'un massif meuble) est susceptible de survenir au droit des terrils où une surcharge éventuelle risque de remobiliser ces terrains par nature sensibles à ce type de phénomène.

Les matériaux constituant les dépôts ont été déversés de manière gravitaire (bande transporteuse pour la mine de Sigonce et des Gaillardons). Cela ne peut pas d'écarter un tassement de ces dépôts sous l'effet d'une surcharge de surface bien que ces matériaux aient assurément acquis une certaine cohésion suite à leur combustion. C'est pourquoi, la prédisposition à l'aléa tassement au niveau de l'ensemble des dépôts du sous-bassin de Sigonce a été qualifiée de sensible.

Les tassements à attendre étant par nature limités, une classe d'intensité limitée a été retenue pour cet aléa. Le croisement de la classe d'intensité et de la prédisposition conduit à retenir un aléa tassement de niveau faible au niveau de l'ensemble des dépôts reconnus sur le sous-bassin de Sigonce.

14 EVALUATION DE L'ALEA INONDATION

14.1 Modifications des émergences

Actuellement, sur la mine de Sigonce et des Gaillardons, l'exhaure minière est assurée par la galerie d'écoulement à Sigonce.

En cas d'obturation de cette galerie suite à un effondrement localisé, il est envisageable que le niveau d'eau monte dans la galerie, puis dans les travaux jusqu'à atteindre un nouveau point de débordement. Dans ce cas, on peut s'attendre à voir apparaître de nouvelles résurgences.

Pour déterminer la localisation des émergences éventuelles, il est supposé que :

- l'ensemble des travaux miniers était hydrauliquement interconnecté ;
- le débordement se ferait par l'ouvrage dont la cote altimétrique est la moins élevée.

Les ouvrages galerie et puits d'extraction situés à une cote + 480 m NGF en rive droite du ru de la Combe d'Amour constituent les points de débordement privilégiés en cas d'obturation de la galerie d'écoulement. Cependant ces ouvrages ne sont plus visibles. Il est alors supposé que l'exhaure ne pourra se faire que difficilement dans ce secteur.

Le puits D à la cote + 481 m NGF constitue alors le point le plus bas après les ouvrages précédents. Il est donc probable qu'il puisse constituer un point d'exhaure naturel du réservoir minier après obturation de la galerie d'écoulement. Néanmoins il apparaît également obturé. Si ce dernier ne peut également pas constituer un point d'exhaure, les autres ouvrages où des résurgences peuvent apparaître sont : le puits 22 également remblayé (+ 487,5 m NGF) et le puits Saint-Etienne 2 qui lui pourrait laisser déborder les eaux de mine car son obturation actuelle permet l'accès au puits pour l'arrosage (+ 488,3 m NGF).

14.1.1 Evaluation de la prédisposition

Pour que les résurgences apparaissent, il est nécessaire que le bouchon constitué par les matériaux éboulés dans la galerie d'écoulement retiennent une hauteur d'eau de 12 m (différence entre la cote de l'entrée de la galerie d'écoulement + 468 m NGF et la cote du premier point d'exhaure galerie « gal » à + 480 m NGF), ce qui apparaît assez peu probable.

Ainsi la prédisposition à l'aléa modification des émergences est qualifiée à un niveau peu sensible sur les ouvrages identifiés.

14.1.2 Evaluation de l'intensité

La qualification de l'intensité de cet aléa repose sur les débits attendus aux nouveaux points d'exhaure. Ces nouveaux débits d'exhaure seront supposés identiques aux actuels débits observés car les sources alimentant ce débit ne peuvent que se tarir ou demeurer.

Les débits mesurés à la sortie de la galerie d'écoulement varient entre 100 m³/h après une période pluvieuse et 36 m³/h en période estivale. L'intensité de l'aléa modification des émergences est donc qualifié à niveau modéré.

14.1.3 Evaluation de l'aléa

Un aléa de niveau faible est retenu pour l'aléa modification du régime des émergence à Sigonce, résultant du croisement entre une prédisposition peu sensible et une intensité modérée du phénomène.

14.2 Inondation brutale

Ce type d'aléa est susceptible de survenir en cas de débouillage brutal d'un éventuel bouchon s'étant constitué au sein des galeries d'écoulement.

14.2.1 Evaluation de la prédisposition

L'élément essentiel permettant de qualifier la prédisposition au phénomène d'inondation brutale est la charge maximale retenue par le bouchon au sein de la galerie. Cette charge correspondrait ici à une hauteur d'eau maximale de l'ordre de 10 m⁷. Dans ces conditions, il apparaît raisonnable de qualifier la prédisposition à l'aléa « inondation brutale » à un niveau peu sensible.

14.2.2 Evaluation de l'intensité

Conformément au guide méthodologique (cf. [4]), l'intensité est exprimée en fonction des effets sur les biens et les personnes. Une intensité de niveau limité est retenue car les flux d'eau attendus seront capables de fortes érosion locales mais n'engendreraient pas d'autres dégradations en l'absence d'enjeux en aval à proximité de la sortie de la galerie d'écoulement.

14.2.3 Evaluation de l'aléa

Un aléa faible est retenu pour l'aléa inondation brutale résultant du croisement entre une prédisposition peu sensible et une intensité limitée du phénomène.

Remarque : La remontée des eaux dans les travaux foudroyés de la mine de Sigonce et des Gaillardons pourrait éventuellement conduire à des remobilisations de ces foudroyages se traduisant en surface par des mouvements résiduels de type affaissement. Cet aléa étant très peu probable, il a été décidé de ne pas le retenir.

⁷ cette hauteur correspond à la différence entre la cote de l'exutoire actuel et la cote de l'exutoire susceptible d'apparaître en cas d'obturation de la galerie d'écoulement.

15 CARTOGRAPHIE DES ALEAS

Le fond utilisé pour le report cartographique est la BDORTHO® de l'IGN, correspondant à la photographie aérienne informatisée (ici prise de vue de 2009), orthorectifiée et géoréférencée de la zone d'étude. On considère généralement une incertitude de 3 m pour l'utilisation de la BDORTHO® de l'IGN comme fond topographique.

Les marges d'influence et d'incertitude liées à l'extension de l'aléa, et à la précision des levés et des reports cartographiques telles que définies dans les paragraphes respectifs de chaque aléa sont intégrées aux zonages des aléas figurés sur la carte.

Il est important de noter que la marge d'incertitude peut-être tronquée ou variable selon la direction cardinale impactant de fait la cartographie des aléas. En effet, la présence d'un repère topographique précis permet parfois d'estimer sans ambiguïté la position de l'ouvrage (par exemple, certitude que l'ouvrage se situe en rive droite d'une rivière ou de tel côté d'une route, d'après les documents d'archives, mais position incertaine par ailleurs). Par ailleurs, certains ouvrages repérés sur plans ou mentionnés dans les archives peuvent présenter une cote « z » ou altimétrique. Cette donnée confère à ces ouvrages, lorsqu'ils ne sont pas retrouvés sur le terrain, une incertitude de localisation plus faible dans la direction de la ligne de plus grande pente et une incertitude plus élevée dans la direction de la ligne de niveau correspondant à la cote connue de l'ouvrage.

15.1 Cartographie de l'aléa effondrement localisé

Pour les puits, la zone d'aléa est circulaire. Le rayon de la zone d'aléa est défini à partir du centre du puits de la façon suivante (cf. figure 14) :

$$R = R_{\text{puits}} + R_{\text{influence}} + R_{\text{incertitude globale de localisation}}$$

Avec :

- R_{puits} (pris égal à 1 m) ;
- $R_{\text{influence}}$, relatif à l'extension latérale du cône d'effondrement, pris égal à 2 m, correspondant à l'épaisseur en surface non cohésifs (avec un angle de talus de 45°) dans le cas d'une rupture de tête d'un puits ;
- $R_{\text{incertitude globale de localisation}}$ est estimée selon :
 - Ouvrage matérialisé et levé par GPS ou dGPS : 3 à 5 m dus à l'incertitude du levé DPGS et à celle de localisation du report sur la BDORTHO® de l'IGN ;
 - Ouvrages localisés sur plan d'exploitation : 10 à 20 m dus à l'incertitude estimée de géoréférencement des plans miniers (cf. annexe 1) .

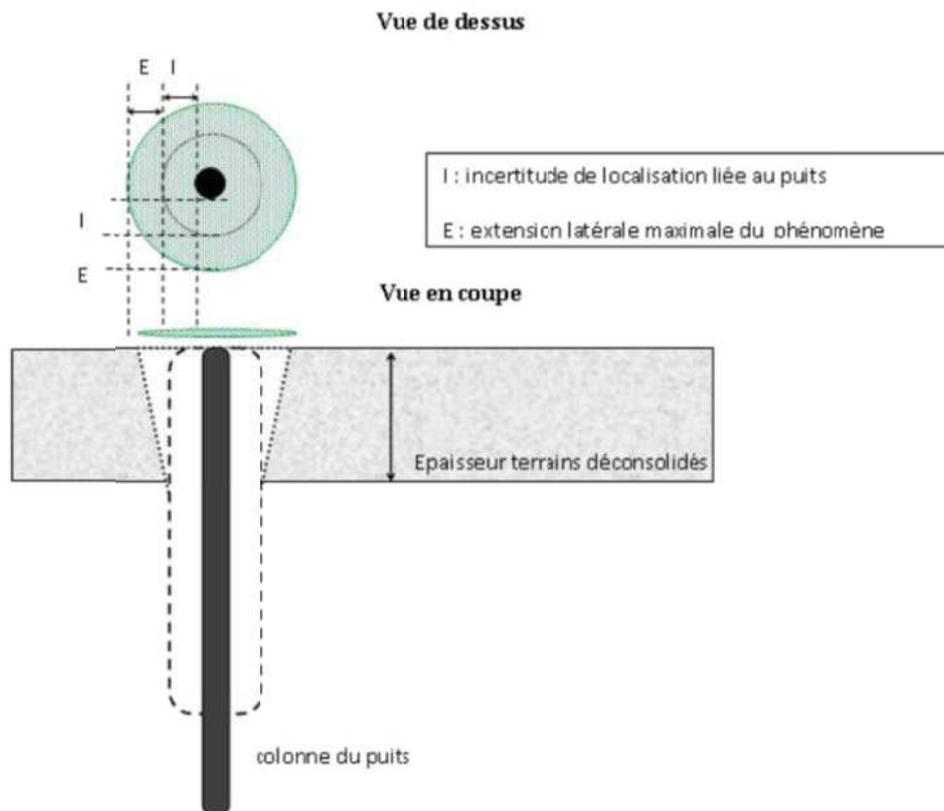


Figure 14 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié aux puits et aux descenderies

Pour les galeries isolées, l'extension de la zone d'aléa est définie à partir de la localisation et de l'extension de ces ouvrages. La marge retenue pour cartographier l'aléa se décompose comme suit (cf. figure 15) :

- une marge de sécurité ou d'incertitude globale de localisation des galeries qui est issue de celle du plan sur laquelle se trouve cet ouvrage et de celle du fond BD Ortho[®] IGN. La valeur de cette marge est de 13 à 23 m pour les galeries. Pour les entrées de galeries ou descenderies matérialisées, elle est réduite de 3 ou 5 m (dGPS + report sur BD Ortho[®] IGN);
- une marge d'influence correspondant à l'extension latérale maximale d'un fontis en surface. Cette marge est calculée par rapport à l'épaisseur des terrains non cohésifs de surface prise égale à 2 m (avec un angle de talus de 45°).

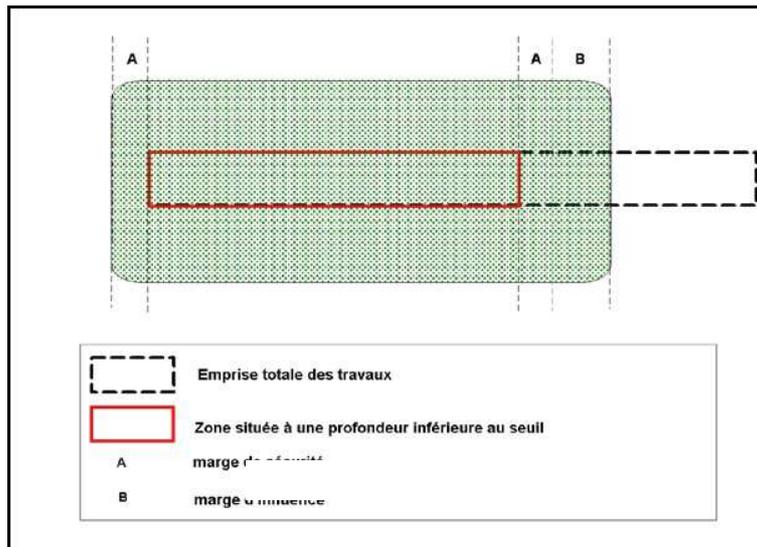


Figure 15 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'une galerie ou d'une descenderie souterraine (vue en plan)

Pour les travaux d'exploitations, Pour les travaux souterrains, l'emprise de la zone d'aléa est définie à partir de la localisation et de l'extension des travaux retenus comme instables pouvant générer un aléa effondrement localisé en surface. Pour cela, il a été nécessaire de définir la partie des travaux situées en-deçà des profondeurs limites de remontée de fontis (ici 10 et 15 m). En l'absence de cotes NGF sur la plupart des plans miniers, cette phase a été menée sur la base :

- des pendages des couches connues ;
- des cotes des terrains de surface (issues du Scan25® de l'IGN) ;
- des profondeurs de certains puits.

L'extension de l'aléa est défini à partir des zones de travaux jugés instables auxquelles s'ajoute la marge d'incertitude et d'influence selon les mêmes principes et valeurs que pour les galeries isolées.

Par ailleurs, compte tenu du caractère approché et « globalisant » de la zone potentiellement affectée par les travaux miniers tracée sur la concession de La Baume, il est considéré que les marges d'incertitudes et d'influences sont comprises dans leur emprise. La cartographie de l'aléa correspond à l'emprise exacte de ces zones, sans y rajouter de marge supplémentaire (ni extension ni incertitude).

15.2 Cartographie de l'aléa affaissement

L'extension de la zone d'aléa affaissement est définie selon l'emprise des travaux d'exploitations jugés instables. Les emprises tiennent compte de la marge d'incertitude de localisation des travaux d'exploitation concernés qui comprend les incertitudes relatives au géoréférencement des plans et du support cartographique (BD Ortho® de l'IGN).

A ceci s'ajoute une marge d'influence qui varie selon le pendage de la couche exploitée. Cette marge d'influence, qui permet de cartographier les limites en surface de la zone possiblement influencée par un affaissement, est déterminée à partir d'un angle dit « angle d'influence », pris sur la verticale, qui relie l'extrémité du panneau, au fond, aux points de surface où les affaissements, déformations ou pentes sont considérés comme imperceptibles ou nuls.

Le choix des valeurs de l'angle d'influence joue donc directement sur l'importance de la zone affectée et doit être pris avec précaution.

Pour évaluer l'aire de la cuvette d'affaissement en surface, si l'on considère le plus souvent dans une couche située en plateure (pendage subhorizontal), un angle d'influence (γ) de l'ordre de 20° à 35° , en gisement penté (pendage supérieur à 20°) on est conduit à distinguer trois angles limites qui varient en fonction du pendage :

- l'angle limite (γ), dans la direction de chassage dont la valeur est égale à l'angle limite en plateure ;
- l'angle limite « amont », plus petit que l'angle γ ;
- l'angle limite « aval », toujours plus grand que l'angle γ .

Dans le cas des mines concernées par le phénomène d'affaissement du sous- bassin de Sigonce, le gisement est considéré en plateure, le pendage étant de l'ordre de 10° (cf. figure 16).

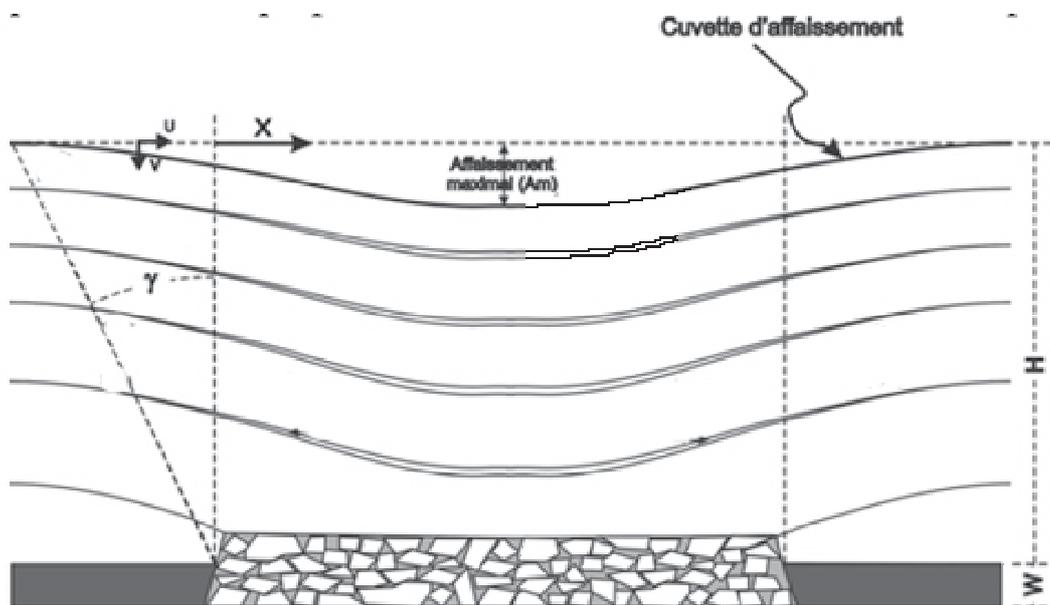


Figure 16 : Représentation schématique d'une cuvette d'affaissement en gisement en plateure

Selon les abaques d'affaissement de grands bassins miniers (ex : bassins houillers du Nord et du Pas-de-Calais (cf. [12]), de Lorraine ou de la Sarre) et le retour d'expérience sur ce type de phénomènes, l'angle d'influence varie entre 20° et 35° , selon les caractéristiques des exploitations adjacentes à celles jugées comme instables et la nature du recouvrement. Pour un recouvrement à dominante calcaire, tel que rencontré sur le sous-bassin de Sigonce, l'angle d'influence d'une zone entourée de bords fermes (parties non à faiblement exploitées) est pris de 20° . Cet angle augmente à 35° lorsque la zone instable est bordée par une exploitation par foudroyage qui a déstructuré le recouvrement (cas de l'aval pendage des travaux affaissables de la mine de Sigonce et des Gaillardons).

15.3 Cartographie de l'aléa glissement

La zone d'aléa est définie sur les flancs des 3 dépôts concernés par cet aléa (par défaut l'emprise des dépôts) accrue d'une marge d'incertitude de 5 m (correspondant à l'incertitude de localisation du tracé de leurs emprises à partir de la BD Ortho[®] de l'IGN) et d'une marge d'influence en pied estimée à 10 m (correspondant à la hauteur estimée des dépôts).

15.4 Cartographie de l'aléa tassement

L'aléa tassement se situe directement au droit des dépôts. Les zones d'aléa tassement correspondent donc aux emprises de dépôts accrues d'une marge d'incertitude de 5 m (correspondant à l'incertitude de localisation du tracé de leurs emprises à partir de la BD Ortho[®] de l'IGN).

15.5 Cartographie de l'aléa inondation

15.5.1 Aléa modifications des émergences

Cet aléa est directement lié aux ouvrages débouchant au jour par lesquels les eaux peuvent émerger. L'extension des zones d'aléa intègre une marge d'incertitude de calage correspondant à la précision du positionnement des ouvrages concernés ainsi qu'une marge d'influence estimée⁸ à 20 m généralement dans la direction de la plus grande pente.

15.5.2 Aléa inondation brutale

L'extension de cet aléa, lié au débouillage d'un bouchon créé dans la galerie d'écoulement de Sigonce, intègre une marge d'incertitude de positionnement de la galerie et de son report sur la BD Ortho[®] de l'IGN ainsi qu'une marge d'influence estimée à 50 m en aval, le long des chemins d'écoulement actuels.

15.6 Synthèse de la cartographie des aléas

Les cartes relatives aux aléas retenus sont présentées en annexe 5. Pour les mêmes raisons que pour les cartes informatives (cf. § 7), l'impression des cartes d'aléas par commune a été réalisée à l'échelle du 1/5 000. Néanmoins, compte tenu de la précision des échelles des supports cartographiques utilisés, il est estimé que l'échelle maximale de validité des cartes d'aléas est celle du 1/2 500.

Le tableau 8 suivant synthétise les aléas retenus par commune.

⁸ cette marge forfaitaire a été évaluée en fonction des débits estimés

Forcalquier	La Baume	Effondrement localisé	Zone potentiellement affectée par travaux miniers et galeries de recherche		
	Bois-du-Roi	Effondrement localisé	Galeries et travaux en chambres et piliers		
		Affaissement	travaux en chambres et piliers		Sans objet
		Tassement	Sur dépôts		Sans objet
Fontienne	Bois-du-Roi	Affaissement	travaux en chambres et piliers		Sans objet
		Tassement	Sur dépôts		Sans objet
	Fontienne	Effondrement localisé	Galeries et travaux en chambres et piliers		
		Affaissement	Travaux en chambres et piliers du flanc sud		Sans objet
Sigonce	Fontienne	Effondrement localisé	Galerie	Sans objet	
	Mine de Sigonce et des Gaillardons	Effondrement localisé	Galeries et travaux en chambres et piliers		
		Effondrement localisé	Sur puits		
		Affaissement	travaux en chambres et piliers		Sans objet
		Glissement	Sur dépôts		Sans objet
		Tassement	Sur dépôts		Sans objet
		Inondation	Sur galerie et puits		Sans objet

Tableau 8 : Répartition des aléas « mouvements de terrain » par commune

16 CONCLUSIONS

La DREAL de Provence Alpes Côte d'Azur, a demandé à Geoderis, dans le cadre de son programme de travail de 2016, une réédition des cartes d'aléas par commune du sous-bassin de Sigonce, base de travail à l'établissement d'un porté à connaissances aux trois communes concernées (Fontienne, Forcalquier et Sigonce). Il était également demandé que ces cartes s'appuient sur un document autoporteur qui synthétise l'ensemble des travaux menés depuis l'édition des premières études en 2007.

Ces études ont permis de retenir en aléa quatre phénomènes de « mouvements de terrain » : l'affaissement, l'effondrement localisé, le glissement et le tassement. En fonction des types de phénomènes, les niveaux retenus varient de faible à moyen. De l'aléa de type « inondation » a été également retenu dont le niveau a été évalué à faible.

Les communes de Fontienne, Forcalquier et Sigonce sont concernées par des travaux d'exploitations. Ces trois communes présentent des aléas. L'examen de la carte des aléas (sur fond BD ORTHO® de l'IGN – prises de vue 2009 – cf. annexe 5) permet de constater qu'à l'échelle de ces communes l'emprise des zones d'aléa retenues est de faible superficie sauf sur la commune de Sigonce où la partie du bourg et sa périphérie sont concernés par des zones d'aléas.

Les enjeux bâtis situés en zones d'aléas sur la commune de Sigonce ont fait l'objet d'une des risques en 2015. Ces enjeux bâtis situés sur des zones d'aléa effondrement localisé et/ou affaissement de niveau faible à moyen qui ont été reconnus sans risque pour la sécurité publique.

Bibliographie

- [1] *Bassin du Lubéron, Evaluation et cartographie des aléas « mouvements de terrain » et « émission de gaz de mine » sur les communes de Fontienne, Forcalquier, Pierrevert, Villemus et Saint-Martin-les-Eaux.* Rapport GEODERIS S2007/54DE-07PAC2120, 2007.
- [2] *Bassin du Lubéron, Evaluation et cartographie des aléas miniers sur les communes de Manosque et Sigonce.* Rapport GEODERIS S2007/36DE-07PAC2120, 2007.
- [3] *Bassin minier du Lubéron - Communes de Dauphin, Manosque, Pierrevert, Saint-Maime, Saint-Martin-les-Eaux et Sigonce (04) - Etude de risques liés à l'effondrement localisé.* Rapport GEODERIS S2015/083DE-15PAC36060, 2015.
- [4] *L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers - Guide Méthodologique - Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa - Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine.* Rapport INERIS DRS-06-51198/R01, 2006.
- [5] *Avis sur l'origine d'un désordre apparu sur la commune de Sigonce (Alpes de Haute Provence).* Rapport GEODERIS S 2014/059DE - 14PAC3501, 2014.
- [6] *Inventaire des dépôts miniers issus des exploitations charbonnières.* Rapport GEODERIS N2013/042_bis – 13NAT2440. Juin 2014.
- [7] *Notes de suivi des forages de reconnaissance du bassin minier du Lubéron (04).* Rapport INERIS DRS-14-147192-10954A, décembre 2014.
- [8] *Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux et d'abandon de la concession minière de Bois du roi – Alpes de Haute-Provence.* Rapport SIRAS n°98156, janvier 1998.
- [10] *Contribution au développement d'outils d'aide à l'évaluation des aléas dans le cadre des PPRM Aléas « mouvements de terrain » pour les gisements pentés et filoniens – Partie 2 : Typologie des événements redoutés au droit d'exploitations pentées et/ou filoniennes.* Rapport INERIS DRS-05-55102/R02, 2005.
- [11] *Annexe technique au guide d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers - Evaluation de l'aléa « effondrement localisé ».* Rapport INERIS DRS-09-103953-12226A, décembre 2009.
- [12] Proust A. (1964). *Etude sur les affaissements miniers dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais.* R.I.M

Annexe 1

Liste des ouvrages débouchant au jour

Galerie 4 de la Fontienne	FONTIENNE	Fontienne	877605.48	194847.11	NR	Plan Archives DREAL	non	20	Galerie	exploitation	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	NR	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Galerie 3 de la Fontienne	FONTIENNE	Fontienne	877629.86	194718.04	NR	Plan Archives DREAL	non	20	Galerie	exploitation	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	NR	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Galerie 2 de la Fontienne	FONTIENNE	Fontienne	877610.84	194592.23	NR	Plan Archives DREAL	non	20	Galerie	exploitation	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	NR	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Galerie 1 de la Fontienne	FONTIENNE	Fontienne	877543.68	194397.16	NR	Plan Archives DREAL	non	20	Galerie	exploitation	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	NR	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Galerie Ferrero	FONTIENNE	Fontienne	877580.78	195051.22	NR	Plan Archives DREAL	non	20	Galerie	exploitation	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	0	SO	SO	SO	SO	-	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Galerie 4 du Bois du Roi	FORCALQUIER	Bois-du-Roi	876301.03	194357.01	NR	DADT 1998	non	10	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	NR	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Galerie 3 du Bois du Roi	FORCALQUIER	Bois-du-Roi	876270.97	194425.01	NR	DADT 1998	non	10	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	1.7	SO	1.8	SO	SO	SO	SO	inconnue	roche nue	-	1998	foudroyage couronné sur 10 ml	non		
Galerie 2 du Bois du Roi	FORCALQUIER	Bois-du-Roi	876212.96	194536	NR	DADT 1998	non	10	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	0	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	1998	remblayage + buse	oui		
Galerie 1 du Bois du Roi	FORCALQUIER	Bois-du-Roi	876179.22	194578.99	NR	DADT 1998	non	10	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	0	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Galerie 1 de la Baume	FORCALQUIER	La Baume	876437.88	193497.89	NR	INERIS DRS-06-7372/R01	non	20	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	2.5	SO	2	SO	SO	SO	SO	supposée non traitée	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Galerie 2 de la Baume	FORCALQUIER	La Baume	876469.09	193503.98	NR	INERIS DRS-06-7372/R01	non	20	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	2.5	SO	2	SO	SO	SO	SO	supposée non traitée	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Galerie 5 du Bois du Roi	FORCALQUIER	Bois-du-Roi	876340.03	194295	497	DADT 1998	non	10	Galerie	-	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	0	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	-	-	-	non		
Descenderie Couche Sigonce	SIGONCE	Les Gaillardons	879025.43	194445.08	529.19	INERIS DRS-06-81365/R01	non	10	Descenderie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Descenderie Couche de la Chapelle	SIGONCE	Les Gaillardons	878996.11	194406.51	544.4	INERIS DRS-06-81365/R01	non	10	Descenderie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Nouvelle Descenderie Couche de la Chapelle	SIGONCE	Les Gaillardons	879237.21	194361.95	524.83	Plan de mine	non	10	Descenderie	-	inconnue	NR	SO	NR	SO	SO	SO	SO	inconnue	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Galerie 6 de la Fontienne	SIGONCE	Les Gaillardons	878413.83	194451.81	NR	Plan Archives DREAL	non	20	Galerie	recherche	XIX ^{ème} siècle	NR	SO	0	SO	SO	SO	SO	-	-	inconnue	-	-	-	non	
Galerie La Fontaine n°2	SIGONCE	Les Gaillardons	879369.22	194304.98	NR	INERIS DRS-06-81365/R01	non	10	Galerie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	-	supposée vide une fois les premiers mètres passés	inconnue	-	-	-	non	
Galerie d'écoulement	SIGONCE	Sigonce	881198.77	194100.97	460	dGPS	oui	3	Galerie	exhaure	1930	2	SO	2	SO	SO	SO	SO	grilles + buses scellées et maçonnée à l'entrée	vide	inconnue	-	-	grille + 3 buses, mur en béton d'1m d'ép.	oui	
Galerie n°19	SIGONCE	Sigonce	881748.67	194847	NR	INERIS DRS-06-81365/R01	non	10	Galerie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	effondrée sur les premiers mètres	inconnue	inconnue	-	-	-	non	
Galerie "gal"	SIGONCE	Sigonce	881760.02	194812.21	480	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Galerie	-	1888	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	éboulement sur les 1er mètres	supposée vide après éboulement	inconnue	-	-	-	non	
Galerie du Bêche	SIGONCE	Sigonce	881868.8	194963.25	506.3	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Galerie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	comblée par éboulement sur 1 certaine longueur	supposée vide en partie	inconnue	-	-	-	non	
Galerie n°26	SIGONCE	Sigonce	881898.13	195037.24	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Galerie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	éboulement sur les 1er mètres	supposée vide après éboulement	inconnue	-	-	-	non	
Galerie du personnel	SIGONCE	Sigonce	881133.71	194538.31	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Galerie	entrée du personnel ?	1873	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	éboulement sur les 1er mètres	supposée vide après éboulement	inconnue	-	-	-	non	
Galerie n°20	SIGONCE	Sigonce	881251.53	194886.94	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Galerie	-	inconnue	2	SO	2.5	SO	SO	SO	SO	éboulement sur les 1er mètres	supposée vide après éboulement	inconnue	-	-	-	non	
Puits Timon	SIGONCE	Les Gaillardons	880029.49	194475.88	497	PV visite 1932	non	10	Puits	personnel	1932	3	3	SO	13	NR	NR	NR	dallée + recouverte de terre	remblayée	inconnue	-	Débouillage en 1993, 1995 et affaissements en 1996 et 1998	post 1998	-	non
Puits du Pré	SIGONCE	Sigonce	880884.93	194651.61	461.9	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	60	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non	
Puits d'aérag 1	SIGONCE	Les Gaillardons	880843.1	194617.35	488.8	BRGM/RP-54186-FR / Plan g	oui	5	Puits	aérag	inconnue	NR	NR	SO	12	NR	NR	NR	-	vide	inconnue	-	-	-	non	
Puits du Sanglier	SIGONCE	Sigonce	881862.5	194804.01	NR	BRGM/RP-54186-FR	oui	5	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	0	NR	NR	NR	-	remblayé	inconnue	-	-	-	non	
Puits Saint Etienne 1	SIGONCE	Sigonce	881133.92	194472.2	490.7	dGPS	oui	3	Puits	extraction + aérag	1873	2.3	3.5	SO	126	2	4	4	dallée béton chevalements et treuils toujours présents	vide	inconnue	-	-	-	non	
Puits Saint Etienne 2 du Puits neuf	SIGONCE	Sigonce	881133.39	194363.1	488.3	BRGM/RP-54186-FR	oui	5	Puits	aérag	1948	2.3	3.5	SO	128	1	74	74	dallée béton + margelle maçonnée	vide + pompe d'arrosage	inconnue	-	-	-	non	
Puits Le Lan 1	SIGONCE	Les Gaillardons	880546.07	194596.01	501.3	BRGM/RP-54186-FR / Portiglietti	non	10	Puits	aérag	inconnue	NR	NR	SO	10	NR	NR	NR	-	remblayé	inconnue	-	1933	-	non	
Puits Le Lan 2	SIGONCE	Les Gaillardons	880590.43	194574.57	496	BRGM/RP-54186-FR / L 1860	non	10	Puits	-	1850	NR	NR	SO	16	NR	NR	NR	-	remblayé d'après plan	inconnue	-	avant 1924	-	non	
Puits Saint Louis	SIGONCE	Hors-Titre	882089.31	194341.24	460	BRGM/RP-54186-FR / Docs 1860	oui	5	Puits	recherche	1874	2.5	3.5	SO	78	NR	NR	NR	maçonnée	vide	maçonnée	-	-	-	non	
Puits Sainte Mane	SIGONCE	Hors-Titre	881781.57	194223.95	465	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	1873	NR	NR	SO	NR	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non	
Puits actuel	SIGONCE	Sigonce	881121.09	194647.3	492.4	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	47	NR	NR	NR	-	remblayé d'après plan	inconnue	-	-	-	non	

Puits de La Bascule	SIGONCE	Sigonce	881120.99	194600.53	491.4	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	1906	NR	NR	SO	24	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits d'extraction	SIGONCE	Sigonce	881681.51	194822.09	480	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	extraction + aération	inconnue	NR	NR	SO	27	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits descente	SIGONCE	Sigonce	881827.92	194797.5	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	9	NR	NR	-	remblayé d'après plan	inconnue	-	-	-	non
Puits d'aération 2	SIGONCE	Les Gaillardons	880789.18	194274.5	NR	PV 1950	oui	5	Puits	aération	1950	1	1.6	SO	60	NR	NR	platelage en bois (1960) ; puis maçonnée sur 2 m.	comblée par remblayage (1961)	inconnue	-	1961	-	non
Puits de l'amandier	SIGONCE	Les Gaillardons	880819.87	194664.75	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	10	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
P2	SIGONCE	Les Gaillardons	880478.07	194558.6	495.4	Plans consultés	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	remblayé d'après plan	inconnue	-	-	-	non
P3	SIGONCE	Les Gaillardons	880347.22	194500.37	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
P9	SIGONCE	Les Gaillardons	880647.71	194572.68	495.6	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	1876	NR	NR	SO	18	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
P10	SIGONCE	Les Gaillardons	880513.59	194597.17	500.2	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	aération	inconnue	NR	NR	SO	0	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
P12	SIGONCE	Les Gaillardons	879129.59	194446.24	520.5	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	recherche	inconnue	NR	NR	SO	10	0	SO	-	remblayée, sans recette	inconnue	-	-	-	non
P13	SIGONCE	Les Gaillardons	879304.38	194446.14	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	recherche	inconnue	NR	NR	SO	10	0	SO	-	remblayée, sans recette	inconnue	-	-	-	non
P14	SIGONCE	Les Gaillardons	879040.04	194446.45	524.9	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	recherche	inconnue	NR	NR	SO	12.3	0	SO	-	remblayée, sans recette	inconnue	-	-	-	non
P15	SIGONCE	Les Gaillardons	879215.35	194442.88	515.2	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	recherche	inconnue	NR	NR	SO	10	0	SO	-	remblayée, sans recette	inconnue	-	-	-	non
P16	SIGONCE	Sigonce	881140.43	194517.5	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
P18	SIGONCE	Sigonce	881570.2	194964.4	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	1865	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits de la Charité	SIGONCE	Sigonce	881143.69	194739.9	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	14	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits n°22	SIGONCE	Sigonce	881112.16	194713.41	487.5	Plan 6	non	10	Puits	-	antérieur à 1924	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	remblayé + dalle suite à effondrements	inconnue	Cratère d'effondrement 7m de Ø , 8m de prof.	-	-	non
Puits a	SIGONCE	Sigonce	881374.08	194967.66	NR	PV 15	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	14	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits a'	SIGONCE	Sigonce	881328.78	194920.05	NR	PV 15	non	10	Puits	-	1860	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits E	SIGONCE	Les Gaillardons	880616.07	194515.29	496	Plan 8	non	10	Puits	-	1860	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits D	SIGONCE	Les Gaillardons	880660.53	194484.92	481	Plan 8	non	10	Puits	-	1860	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits 4	SIGONCE	Sigonce	881804.8	194790.35	489.1	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits 11	SIGONCE	Les Gaillardons	880299.18	194448.97	NR	BRGM/RP-54186-FR	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits 17	SIGONCE	Hors-Titre	883334.9	195079.6	NR	N2	non	20	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non
Puits a"	SIGONCE	Sigonce	881375.55	195034.82	NR	PV15	non	10	Puits	-	inconnue	NR	NR	SO	NR	NR	NR	-	supposé remblayé	inconnue	-	-	-	non

Annexe 2

Approche volumétrique déterministe de la hauteur de remontée de cloche de fontis

Dans le cas, où un effondrement du toit d'une excavation souterraine est susceptible de survenir, une montée de voûte peut être initiée. Ce mécanisme peut se propager vers la surface (montée de cloche de fontis ou ruptures de bancs successives).

Ce phénomène peut être bloqué par :

- l'existence d'un banc rocheux suffisamment résistant pour supporter la contrainte sans se ruiner ;
- le phénomène d'auto-comblement (les terrains éboulés envahissent les volumes disponibles, ils foisonnent et de fait suppriment les vides nécessaires à la poursuite du mécanisme).

Le nombre généralement « restreint » de désordres observés ne permet pas, à lui seul, d'établir la profondeur limite à partir de laquelle le risque de remontée de fontis en surface devient nul.

Il est possible d'estimer la hauteur maximale de remontée de fontis à partir d'un modèle de calcul prenant en compte en particulier les caractéristiques géométriques des cavités résiduelles (V_g), le coefficient de foisonnement (k) et l'angle de talus naturel des terrains constituant le recouvrement (cf. [5]).

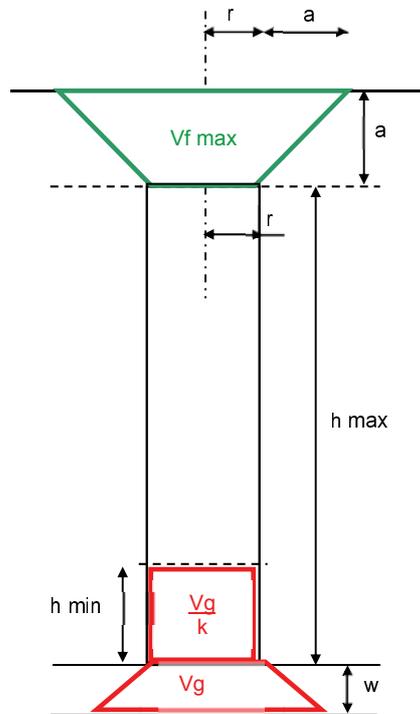


Figure 1 : Modélisation de la formation d'un fontis

Pour ce faire, l'INERIS a développé un outil de calcul s'appuyant sur une modélisation analytique des volumes mis en jeu lors de la propagation d'une cloche d'éboulement ou d'une rupture de bancs successives (cf. [11]).

Cet outil a été appliqué aux conditions des sites retenues, à savoir :

- Les valeurs du coefficient de foisonnement retenues sont issues de la classification R.T.R. (Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC. 1976) : 1,3 à 1,5 pour les calcaires plus ou moins marneux caractérisant « globalement » les terrains de recouvrement des exploitations des cas étudiés.

- Les valeurs d'angles de talus naturel pour des roches sèches ou humides sont comprises entre 35° et 50°.
- Les largeurs des vides étudiés sont comprises entre ou estimées à :
 - 2 et 3 m, pour les chantiers d'exploitation du secteur centre de Sigonce ;
 - 2 à 5 m, pour les chantiers d'exploitation du secteur du Lan à Sigonce ;
 - 1,8 et 2 m, pour la galerie du niveau - 24 à Sigonce ;
 - 1 à 1,5 m, pour la galerie d'écoulement à Sigonce ;
 - 2 m pour les chantiers d'exploitation des concessions de Fontienne et Bois-du-Roi ;
 - 1,7 m pour les galeries de recherches ou de niveaux aux chantiers des concessions de Bois-du-Roi, Fontienne et La Baume.
- L'ouverture des vides étudiés sont comprises entre ou estimée à :
 - 1,1 m, pour les chantiers d'exploitation du secteur centre de Sigonce ;
 - 1 m, pour les chantiers d'exploitation du secteur du Lan à Sigonce ;
 - 1,8 et 2 m, pour la galerie du niveau - 24 à Sigonce ;
 - 1 à 1,5 m, pour la galerie d'écoulement à Sigonce ;
 - 1,2 m pour les chantiers d'exploitation des concessions de Fontienne et Bois-du-Roi ;
 - 1,8 à 2 m pour les galeries de recherches ou de niveaux aux chantiers des concessions de Bois-du-Roi, Fontienne et La Baume.

Les galeries ont été supposées non remblayées et les chantiers d'exploitation ont été pris comme partiellement remblayés tels qu'il a été constaté par les sondages sur la mine de Sigonce et des Gaillardons ou décrits dans les archives d'exploitation de la concession du Bois-du-Roi.

L'expérience montre que les fontis s'initient sur une largeur égale ou légèrement inférieure à la largeur totale de la galerie (rayon du fontis variant dans une gamme de 80% à 100% du rayon maximal possible).

Compte tenu de toutes ces variables, trois approches probabilistes de calculs de hauteurs de remontée de voûte ont été réalisées selon les configurations suivantes :

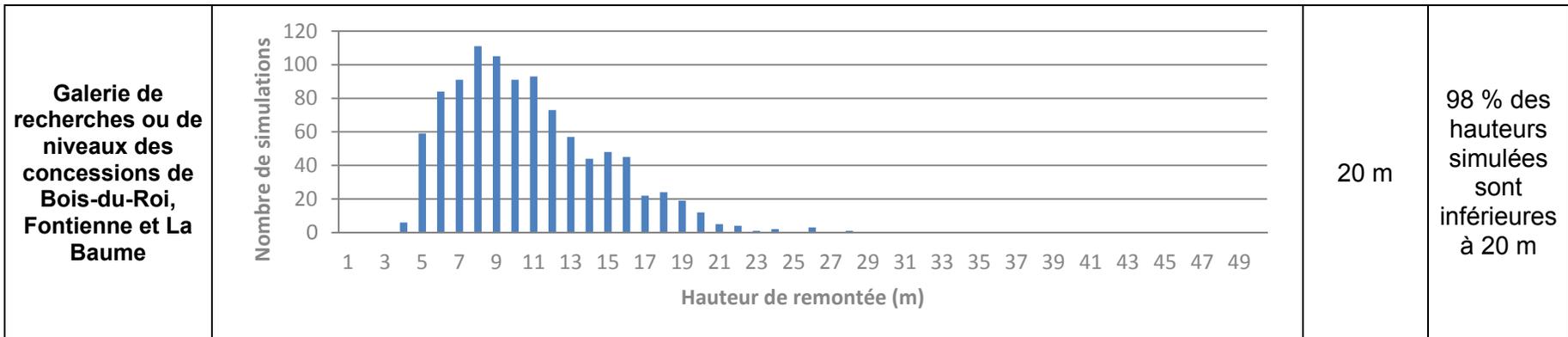
- au droit de galeries isolées ;
- au droit de chantiers d'exploitation.

Le tableau suivant présente pour chaque cas étudié les résultats des calculs de hauteur de remontée de voûte par suite de 1000 simulations de rupture du toit de galeries ou chantiers prises au hasard dans toutes leurs configurations possibles.

<p>Chambres d'exploitation du secteur centre mine de Sigonce et des Gaillardons</p>	<table border="1"> <caption>Data for 'Chambres d'exploitation' histogram</caption> <thead> <tr> <th>Hauteur de remontée (m)</th> <th>Nombre de simulations</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>250</td></tr> <tr><td>7</td><td>250</td></tr> <tr><td>8</td><td>170</td></tr> <tr><td>9</td><td>110</td></tr> <tr><td>10</td><td>60</td></tr> <tr><td>11</td><td>20</td></tr> <tr><td>12</td><td>10</td></tr> <tr><td>13</td><td>5</td></tr> <tr><td>14</td><td>2</td></tr> <tr><td>15</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Hauteur de remontée (m)	Nombre de simulations	5	100	6	250	7	250	8	170	9	110	10	60	11	20	12	10	13	5	14	2	15	1	<p>10 m</p>	<p>96 % des hauteurs simulées sont inférieures à 10 m</p>
Hauteur de remontée (m)	Nombre de simulations																										
5	100																										
6	250																										
7	250																										
8	170																										
9	110																										
10	60																										
11	20																										
12	10																										
13	5																										
14	2																										
15	1																										
<p>Rupture pilier(s) du secteur centre mine de Sigonce et des Gaillardons</p>	<table border="1"> <caption>Data for 'Rupture pilier(s)' histogram</caption> <thead> <tr> <th>Hauteur de remontée (m)</th> <th>Nombre de simulations</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4</td><td>30</td></tr> <tr><td>5</td><td>240</td></tr> <tr><td>6</td><td>300</td></tr> <tr><td>7</td><td>230</td></tr> <tr><td>8</td><td>120</td></tr> <tr><td>9</td><td>40</td></tr> <tr><td>10</td><td>15</td></tr> <tr><td>11</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Hauteur de remontée (m)	Nombre de simulations	4	30	5	240	6	300	7	230	8	120	9	40	10	15	11	5	12	2	<p>10 m</p>	<p>99 % des hauteurs simulées sont inférieures à 10 m</p>				
Hauteur de remontée (m)	Nombre de simulations																										
4	30																										
5	240																										
6	300																										
7	230																										
8	120																										
9	40																										
10	15																										
11	5																										
12	2																										

<p>Chambres d'exploitation du secteur du Lan mine de Sigonce et des Gaillardons</p>	<p>Nombre de simulations</p> <p>Hauteur de remontée (m)</p>	<p>10 m</p>	<p>98 % des hauteurs simulées sont inférieures à 10 m</p>
<p>Rupture pilier(s) du secteur du Lan mine de Sigonce et des Gaillardons</p>	<p>Nombre de simulations</p> <p>Hauteur de remontée (m)</p>	<p>10 m</p>	<p>99 % des hauteurs simulées sont inférieures à 10 m</p>
<p>Chambres d'exploitation des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne</p>	<p>Nombre de simulations</p> <p>Hauteur de remontée (m)</p>	<p>15 m</p>	<p>99 % des hauteurs simulées sont inférieures à 25 m</p>

<p>Rupture pilier(s) des concessions de Bois-du-Roi et de Fontienne</p>		<p>10 m</p>	<p>95 % des hauteurs simulées sont inférieures à 25 m</p>
<p>Galerie niveau - 24 (commune de Sigonce)</p>		<p>25 m</p>	<p>99 % des hauteurs simulées sont inférieures à 25 m</p>
<p>Galerie écoulement (commune de Sigonce)</p>		<p>20 m</p>	<p>> 96 % des hauteurs simulées sont inférieures à 20 m</p>



ANNEXE 3

Synthèse de l'évaluation des niveaux d'aléa à l'effondrement localisé lié aux puits

Puits Timon	Les Gaillardons	personnel					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible	Débouillage en 1993, 1995 et affaissements en 1996 et 1998	Peu sensible	Modérée	
Puits d'aéragé 1		aéragé					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits Le Lan 1		aéragé ?					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits Le Lan 2		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits d'aéragé 2		aéragé					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits de l'amandier		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
P2		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
P3		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
P9		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
P10		aéragé ?					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
P12		recherche					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
P13		recherche					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
P14		recherche					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
P15		recherche					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits E		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits D		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits 11		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits du Pré	Signonce	-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits du Sanglier		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits Saint Etienne 1		extraction + aéragé					Sans objet		mamo-calcaires	Sensible		Sensible	Modérée	
Puits Saint Etienne 2 ou Puits neuf		aéragé					Sans objet	maçonné	mamo-calcaires	Sensible		Sensible	Modérée	
Puits Saint Louis		recherche					Sensible	margelle maçonnée	mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits Sainte Marie		recherche					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits actuel		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
Puits de La Bascule		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits d'extraction	Signonce	extraction + aéragé					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits descente		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Peu sensible	Modérée	
P16		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
P18		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits de la Charité		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits n°22		-					Peu sensible		mamo-calcaires	Peu sensible	cône d'effondrement 7m de Ø , 8m de prof.	Peu sensible	Modérée	
Puits a		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits a'		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits 4		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits 17		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	
Puits a"		-					Sensible		mamo-calcaires	Peu sensible		Sensible	Modérée	

ANNEXE 4

Cartes informatives

(hors texte)

ANNEXE 5

Cartes d'aléas

(hors texte)