

**Bassin de Lignite de « Vèdes-La Fare » (13)
Titres miniers de Coudoux, la Fare, Vèdes,
Liquette et Bassan
Evaluation et cartographie des aléas miniers**

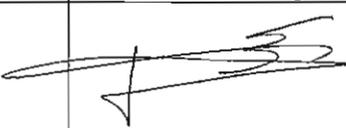
DIFFUSION :

René BEAUDOIN
Jacques BUSSET
Dominique MIDOT

DRIRE PACA (2 ex.)
Pôle Après-Mine Sud
GEODERIS D

Réf : GEODERIS S 2008/25DE - 08PAC2220

Date : 07/02/08

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	O. Lefebvre	Ph. Baranger	A. Dommanget
Visa			

**Bassin de Lignite de « Vèdes-La Fare » (13)
Titres miniers de Coudoux, la Fare, Vèdes,
Liquette et Bassan
Evaluation et cartographie des aléas miniers**

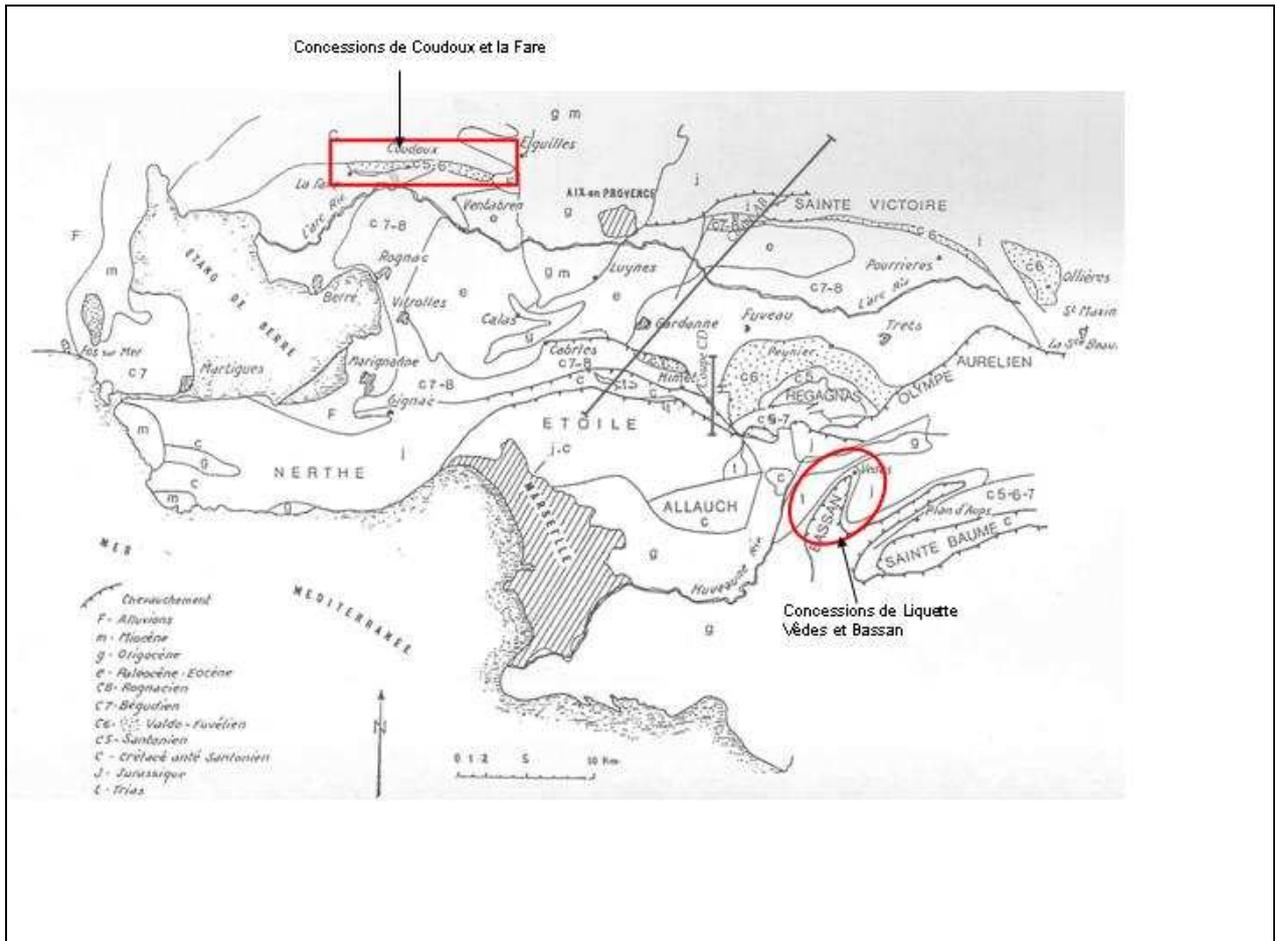
SOMMAIRE

1. Cadre et objectif.....	3
2. Methodologie et travaux effectués.....	5
2.1. Situation minière / historique	5
2.2. Déroulement de l'étude	6
2.3. Risque et aléa.....	6
3. Aleas résiduels.....	7
3.1. Incertitude et marges d'affichage.....	7
3.2. Nature des aleas résiduels retenus.....	7
3.2.1. L'effondrement localisé	10
3.2.2. Le phénomène de tassement.....	12
3.2.3. L'émission de gaz de mine.....	12
3.2.4. Le phénomène d'échauffement	13
3.2.5. La pollution des eaux	13
4. Conclusion.....	14

Mots clés : PPRM, lignite, provence, Vèdes, la Fare, aléas

1. CADRE ET OBJECTIF

Le bassin de lignite de « Vèdes la Fare » n'a pas de réalité géographique ou géologique. Les deux ensembles de concessions étudiées, rassemblés pour les besoins de l'étude, se trouvent de part et d'autre du bassin de lignite de Provence et sont distants d'environ 40 km.

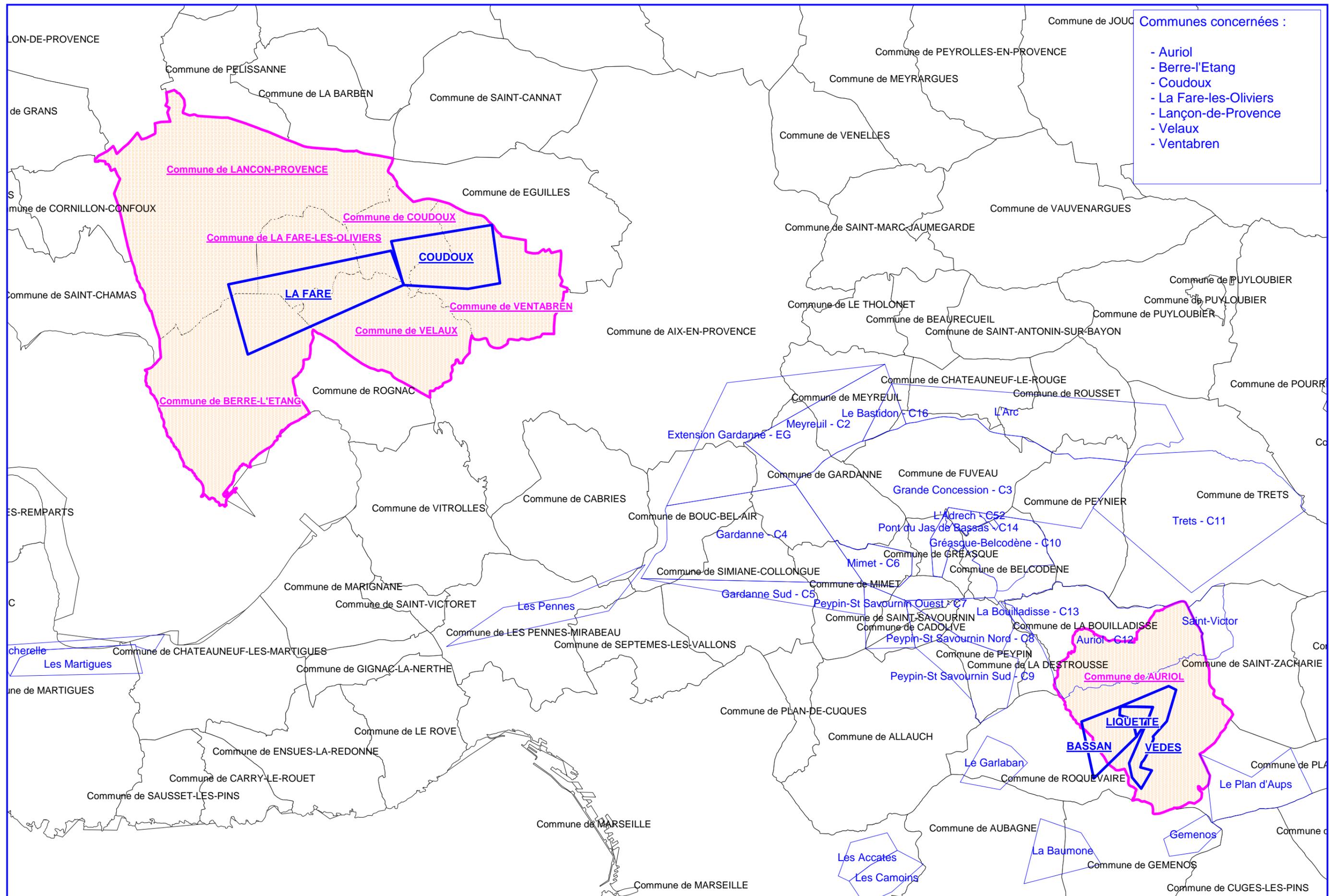


Carte géologique du bassin Lignitifère de Provence (extrait thèse A. Chalumeau)

Au Nord-Ouest se trouvent les concessions de Coudoux et de La Fare tandis qu'au Sud-Est se trouvent Vèdes, Liguette et Bassan (voir figure 1).

Ces titres, liés à l'exploitation du lignite, ont fait l'objet, pour partie, d'une analyse rapide de l'aléa dans le cadre de l'opération scanning. Cette analyse a abouti au classement de 3 sites en priorité 1 (sites de la Fare, Coudoux et Vèdes).

L'analyse menée sur les sites les plus sensibles a été étendue à l'ensemble des concessions dans le cadre de la présente étude dans l'optique d'un affichage cohérent sur les communes concernées.



**FIGURE 1 : PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE POUR LA PHASE INFORMATIVE
DU PPRM DE LA FARE-VÉDES (13)**

L'objectif de l'étude est de :

- déterminer l'existence, la nature et le niveau des aléas résiduels après l'arrêt de l'exploitation,
- délimiter les zones concernées par ces aléas.

GEODERIS a sollicité la collaboration de l'INERIS pour réaliser la synthèse des données et l'évaluation des aléas.

Les données acquises devront permettre de décider de la pertinence de la mise en œuvre d'un PPRM, de définir le périmètre d'instruction et d'établir les cartes réglementaires prescrivant les restrictions d'urbanisme et les modalités de construction.

Elles permettent également d'identifier, à partir des fonds topographiques ou photographiques (orthophotoplan et SCAN 25 de l'IGN) utilisés les zones à risques potentiels : présence d'aléas significatifs sous des enjeux existants (habitations, voiries...).

2. METHODOLOGIE ET TRAVAUX EFFECTUES

2.1. SITUATION MINIERE / HISTORIQUE

Le gisement exploité appartient à la formation Fuvélienne. Les couches de lignite, dont 7 ont pu être exploitées, sont insérées dans une série de calcaires gris bleus micritiques, souvent très durs et pyriteux. Les épaisseurs sont variables à l'échelle du bassin mais généralement métriques pour les couches exploitées.

Si les premières exploitations des affleurements sont antérieures à 1810, l'extraction s'est poursuivie jusqu'en 1952. Le tableau suivant présente les principaux éléments concernant les titres étudiés.

Concession	Institution	Production	Arrêt de l'exploitation	Statut	Remarque
La Fare	22/09/1831	4 000 à 8 000 t	1948	Renoncée le 27/08/1960	Travaux de mise en sécurité réalisés entre 2000 et 2003
Coudoux	01/10/1833	Plus de 100 000 t de minerai extrait	1924	Renoncée le 01/09/1934	Tentative de reprise infructueuse entre 1942 et 1948. Travaux de mise en sécurité réalisés entre 2000 et 2003.
Vèdes	01/02/1831	Plusieurs dizaines de milliers de tonnes	1908	Renoncée le 04/12/1911	Nombreux sites exploités
Liquette	01/10/1833	Sans objet	Sans objet	Renoncée le 04/12/1911	Aucune exploitation
Bassan	01/10/1833	Quelques milliers de tonnes	1908	Renoncée le 04/12/1911	Peu d'exploitation

Pour les concessions de la Fare et Coudoux, les communes concernées par les travaux miniers sont les suivantes :

- La Fare-les Oliviers,
- Coudoux,
- Ventabren.

Pour les concessions de Vèdes, Liquette et Bassan, la seule commune concernée par les travaux miniers est la commune d'Auriol.

2.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Conformément à la méthodologie des études pré PPRM, l'étude est basée essentiellement sur une analyse documentaire, dans le cas présent des archives de la DRIRE PACA, des archives départementales des Bouches-du-Rhône, complétée par des visites de site et enquêtes.

L'étude est structurée en deux volets :

1. **Une phase informative**, présentant 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...). Le produit de cette phase est une carte informative, positionnant les différents éléments sur orthophotoplan.
2. **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.

Le rapport comportant les deux volets de l'étude est présenté en annexe A (rapport INERIS-DRS-07-79530-04642A). Les cartes informatives sont présentées par regroupement géographique de concessions en annexe B et les cartes d'aléa en annexe C.

2.3. RISQUE ET ALEA

L'aléa est un concept spécifique qui correspond à l'éventualité qu'un phénomène se produise sur un site donné en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. Dans le domaine du risque minier comme celui du risque naturel, l'aléa résulte du croisement de l'intensité d'un phénomène redouté et de l'éventualité de sa survenance.

L'aléa est hiérarchisé en l'appliquant à différentes configurations. Les termes « aléa fort » ou « aléa très fort » signifient que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones « d'aléa moyen » ou « d'aléa faible » ou que les phénomènes susceptibles de se produire dans cette zone sont d'un niveau plus élevé.

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

3. ALEAS RESIDUELS

3.1. INCERTITUDE ET MARGES D’AFFICHAGE

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 DGPS 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.

Le support cartographique (SCAN 25, photogrammétrie, orthophotoplan) 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, et de moins de 5 m pour l’orthophotoplan.

Ces incertitudes n’apparaissent pas en cartographie de phase informative, mais sont incluses dans les marges prises en compte pour l’affichage des aléas.

3.2. NATURE DES ALEAS RESIDUELS RETENUS

Le décret en conseil d’Etat n° 2000-547 du 16 juin 2000 relatif à l’application des articles 94 et 95 du code minier stipule que les PPRM sont élaborés et mis en œuvre dans les conditions prévues par la loi du 22 juillet 1987 ainsi que par le décret du 5 octobre 1995. Les aléas pris en compte, au titre de l’article 2 du décret du 5 octobre 1995 sont notamment les suivants : affaissements, effondrements, fontis, inondations, émanations de gaz dangereux, pollutions des sols ou des eaux, émissions de rayonnements ionisants.

Compte tenu de la nature de la substance exploitée (lignite), les aléas pris en compte dans le cas présent sont ceux liés aux mouvements de terrain, aux émissions de gaz et à la pollution des eaux.

Une cartographie des aléas liés à la pollution des eaux a été réalisée mais elle n’est pas présentée ici compte tenu du fait que la méthodologie n’est pas encore validée au niveau national.

On pourra se reporter au rapport INERIS en annexe A pour le détail des phénomènes et l’évaluation des aléas.

Le tableau 1 présente les phénomènes retenus, les configurations correspondantes, les niveaux d’aléa ainsi que les modalités de cartographie, pour les concessions de Vèdes, Bassan et Liquette. Le tableau 2 présente les données équivalentes pour les concessions de la Fare et Coudoux.

Les cartes d’aléas se trouvent en annexe C.

Aléa	Niveau retenu	Mécanisme	Configuration	Modalités de cartographie
Effondrement localisé	Moyen	fontis	Zones avérées de galeries filantes situées à moins de 30 m de profondeur	Extension latérale de 5 m + incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique : au total 15 à 50 m suivant les sites
		fontis	Zones avérées de chambres et piliers ou chambres au pendage situées à moins de 35 m de profondeur	Extension latérale de 5 m + incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique : au total 15 à 60 m suivant les sites
		débouillage, rupture de tête de puits	Puits non retrouvés + cheminée VP8 et puits de Vèdes (ouverts)	Extension latérale de 5 m + rayon du puits (1 m par défaut) + incertitude : au total, le rayon d'affichage autour de l'axe du puits varie de 10 à 50 m
	Faible	fontis	Zones supposées de chambres et piliers situées à moins de 50 m de profondeur	Extension latérale de 5 m + incertitude globale de positionnement
		fontis	Zones avérées de chambres et piliers ou chambres au pendage situées entre 35 et 50 m de profondeur	Extension latérale de 5 m + incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique : au total 15 à 60 m suivant les sites
		fontis	Zones avérées de galeries filantes situées entre 30 et 40 m de profondeur	Extension latérale de 5 m + incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique : au total 15 à 50 m suivant les sites
		débouillage, rupture de tête de puits	Cheminée Pascau (remblayée par le propriétaire du terrain)	Extension latérale de 5 m + rayon du puits (1 m par défaut) + incertitude : au total, le rayon d'affichage autour de l'axe du puits varie de 10 à 50 m
Tassement	Faible		Zones supposées de chambres et piliers à moins de 50 m de profondeur	Projection en surface d'un angle d'influence de 35°+ incertitude globale de localisation
			Zones avérées de galeries filantes à moins de 50 m de profondeur	Incertitude globale de positionnement + marge d'extension latérale de 5 m
			Galeries et puits remblayés	Incertitude globale de positionnement + marge d'extension latérale de 5 m
			Zones avérées de chambres et piliers à moins de 50 m de profondeur	Projection en surface d'un angle d'influence de 35°+ incertitude globale de localisation
Gaz	Moyen		Ouvrages débouchant au jour ouverts, remblayés ou de traitement inconnu, et désordres	Rayon de sécurité de 15 m + incertitude de positionnement + incertitude liée au support
	Faible		Zones d'exploitation non ennoyées (secteur de chambres et piliers des Estiennes, Quartier de l'Intendant, Quartier de Daurenque et quartier du Braou)	5 m côté amont pendage, 28 m côté aval pendage
Echauffement			Au niveau des affleurements	Non cartographié
Pollution des eaux			Eaux souterraines au niveau des zones exploitées, cours d'eau en aval sur un petit linéaire	Non cartographié

Tableau 1 : Concessions de Vèdes, Liquette et Bassan

Aléa	Niveau retenu	Mécanisme	Configuration	Modalités de cartographie
Effondrement localisé	Moyen	fontis	Galeries d'infrastructure limitant les panneaux et voies de têtes des chantiers situées à moins de 45 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Descenderie St Michel (FG1) au-delà des 36 premiers mètres et à moins de 45 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Descenderie des Auberges (FG2), descenderie Saint Hilaire (CG2) et descenderie de la piscine (CG3) ; partie située à moins de 45 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Descenderie de l'abondance (CG6) au-delà des 20 premiers mètres, partie située à moins de 45 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		débouillage, rupture de tête de puits	Puits non retrouvés	Extension latérale de 5 m + rayon du puits (1 m par défaut) + incertitude globale de localisation (jusqu'à une cinquantaine de mètres au maximum)
	Faible	fontis	Zones supposées d'anciens grattages du quartier Saint-Hilaire	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Galeries d'infrastructure limitant les panneaux et voies de têtes des chantiers situées entre 45 et 60 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Descenderie des Auberges (FG2), descenderie Saint Hilaire (CG2) et descenderie de la piscine (CG3) ; partie située entre 45 et 60 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Descenderie Saint-Michel (FG1), partie entre 45 et 60 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		fontis	Descenderie de l'abondance (CG6) : les 20 premiers mètres et la partie située entre 45 et 60 m de profondeur	Extension latérale de 5 à 7 m + incertitude globale de positionnement (5 à 10 m suivant les secteurs)
		débouillage, rupture de tête de puits	Puits remblayés et dallés	Extension latérale de 5 m + rayon du puits (1 m par défaut) + incertitude globale de localisation (jusqu'à une cinquantaine de mètres au maximum)
Tassement	Faible		Zones de tailles montantes situées à moins de 50 m de profondeur	Incertitude globale de localisation (10 m maximum) + projection d'un angle d'influence de 35° pris depuis la bordure des travaux
			Galeries et puits remblayés	Incertitude globale de localisation + marge d'extension latérale de 5 m
Gaz	Faible		Ouvrages débouchant au jour et désordres	Rayon de sécurité de 15 m + incertitude globale de positionnement
Echauffement			Au niveau des affleurements	Non cartographié
Pollution des eaux			Eaux souterraines au niveau des zones exploitées, cours d'eau en aval sur un petit linéaire	Non cartographié

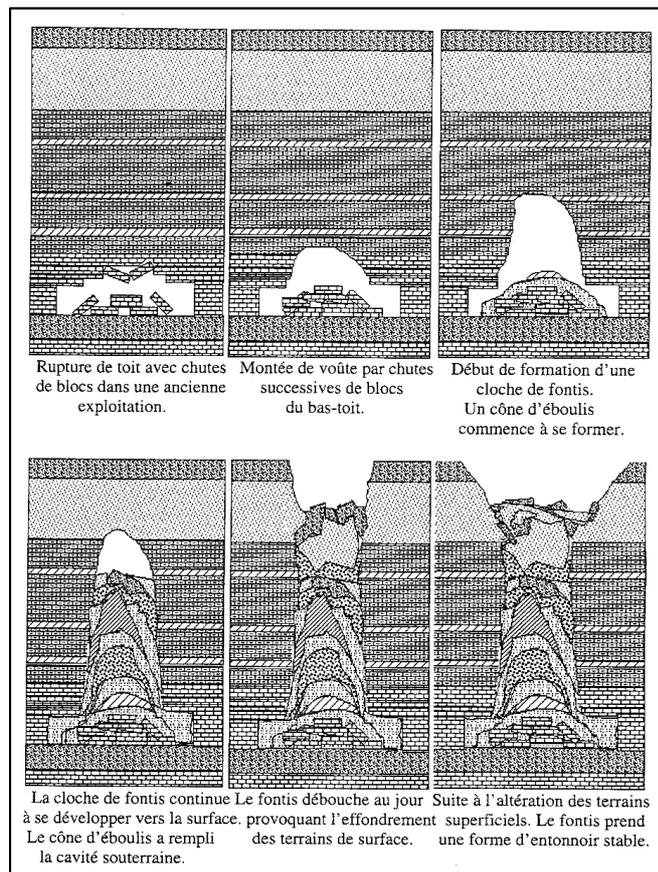
Tableau 2 : Concessions de La Fare et de Coudoux

Les aléas retenus sur les sites étudiés sont présentés ci-après.

3.2.1. L'EFFONDREMENT LOCALISE

Il s'agit de l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont les caractéristiques géométriques dépendent du phénomène initiateur et du comportement des terrains sus-jacents.

L'effondrement localisé peut être la conséquence soit de la remontée au jour d'un vide initié en profondeur (fontis sur une galerie par exemple) ou encore de la rupture d'une colonne de puits. On voit ci-dessous l'illustration du phénomène de fontis.



On retiendra que pour les sites étudiés, les configurations favorables à ce type de phénomène sont les galeries et les secteurs exploités à faible profondeur. Ces configurations sont en effet favorables à la persistance éventuelle de vides souterrains susceptibles de remonter jusqu'au jour. Les orifices d'ouvrage sont également propices à des phénomènes de type débouillage ou éboulement de tête de puits.



Effondrement localisé de grande dimension

Pour les concessions de Vèdes, Liquette et Bassan :

- **L'aléa effondrement localisé a été retenu avec un niveau moyen** au droit des galeries filantes situées à moins de 30 m de profondeur, des zones avérées de chambres et piliers ou de chambres au pendage situées à moins de 35 m de profondeur ainsi qu'autour des puits et cheminées non retrouvés ou ouverts non mis en sécurité (voir tableau 1).
- **Un niveau faible** a été retenu autour de la cheminée Pascau, remblayée par le propriétaire du terrain, au dessus des zones supposées de chambres et piliers situées à moins de 50 m de profondeur, au dessus des zones avérées de chambres et piliers ou chambres au pendages situées entre 35 et 50 m de profondeur et enfin au dessus des galeries filantes situées entre 30 et 40 m de profondeur.

Pour les concessions de la Fare et Coudoux :

- **L'aléa effondrement localisé a été retenu avec un niveau moyen** au droit des galeries d'infrastructure limitant les panneaux et les voies de têtes des chantiers situées à moins de 45 m de profondeur, des descenderies situées à moins de 45 m de profondeur (pour les tronçons non traités) ainsi qu'autour des puits non retrouvés (voir tableau 2).
- **Un niveau faible** a été retenu au droit des galeries d'infrastructure situées entre 45 et 60 m de profondeur, au droit des tronçons de descenderie non traités situés entre 45 et 60 m de profondeur, autour des puits mis en sécurité et au droit des zones supposées d'anciens grattages du quartier de Saint Hilaire.

L'affichage de l'aléa intègre l'extension latérale du phénomène (5 m) et l'incertitude de positionnement propre à chaque objet minier.

3.2.2. LE PHENOMENE DE TASSEMENT

Il s'agit d'un phénomène de recompaction d'un massif meuble ou affecté par les travaux souterrains lié aux variations importantes de conditions environnementales ou de surcharges.

Cet aléa est évalué au dessus des zones exploitées en souterrain, des ouvrages de dépôts, des découvertes ainsi qu'au droit des ouvrages remblayés.

Pour les concessions de Vèdes, Liquelette et Bassan, un aléa tassement faible a été retenu au droit des galeries et puits remblayés, ainsi qu'au droit des zones supposées ou avérées de chambres et piliers situées à moins de 50 m de profondeur et au droit des galeries filantes situées à moins de 50 m de profondeur.

Pour les concessions de La Fare et Coudoux, un aléa tassement faible a aussi été retenu au droit des zones de tailles montantes situées à moins de 50 m de profondeur (en intégrant un angle d'influence) et au droit des galeries et puits remblayés.

3.2.3. L'EMISSION DE GAZ DE MINE

L'émission de gaz de mine en surface implique la présence d'un réservoir (les anciens vides miniers), la présence de gaz potentiellement dangereux et une possibilité d'accumulation et de migration vers la surface.

Pour les concessions étudiées, les travaux ne sont pas grisouteux et on peut donc envisager la présence de dioxyde de carbone, d'air désoxygéné, de radon, d'hydrogène sulfuré et éventuellement de monoxyde de carbone.

Lors de la phase informative, aucun évènement lié à la présence de gaz n'a été mis en évidence.

Les galeries des secteurs isolés (travaux des Lagets, descenderie de la Liquelette et de Villecroze) ne sont pas assez étendues pour présenter un aléa émission de gaz de mine.

Par ailleurs, les trois quartiers exploités sur les **concessions de la Fare et Coudoux** étant totalement ennoyés, toute émission significative de gaz vers la surface peut être éliminée : par mesure de sécurité, un aléa faible a toutefois été retenu uniquement autour des ouvrages débouchant au jour.

Pour les **concessions de Vèdes, Liquelette et Bassan**, un aléa faible a été retenu au droit des zones d'exploitations non ennoyées. Un aléa moyen a été retenu autour des ouvrages ouverts, remblayés ou de traitement inconnu ainsi qu'autour des désordres dans le rapport INERIS. A notre sens, un aléa faible est à retenir autour des ouvrages liés à des travaux peu étendus (la Liquelette, secteur du puits de Vèdes, des Lagets et de Villecroze en particulier).

3.2.4. LE PHENOMENE D'ECHAUFFEMENT

Il s'agit d'un phénomène engendré par l'oxydation de la matière organique combustible. La combustion spontanée est due à une réaction exothermique comme l'oxydation de la pyrite ou un feu externe (type feu de broussailles).

En règle générale, il ne se produit pas sur des affleurements naturels déjà oxydés mais peut être observé dans les terrils et vers les plus récents, à l'occasion de terrassements sur les affleurements ou encore d'incendie. Compte tenu des incertitudes de positionnement des affleurements il n'a pas été cartographié.

3.2.5. LA POLLUTION DES EAUX

Les eaux contenues dans les travaux miniers de lignite se caractérisent par une minéralisation plutôt élevée, avec des teneurs typiques en sulfates, fer, manganèse et éventuellement des traces d'arsenic. Ces eaux ne sont pas susceptibles d'engendrer un impact majeur sur l'environnement, mais peuvent perturber localement le fonctionnement biologique des cours d'eau, en particulier par colmatage du lit par des hydroxydes de fer. Par ailleurs, le réservoir souterrain contenu dans les travaux et leur environnement proche n'est pas compatible avec la production d'eau potable.

Dans le cadre des recherches effectuées, les analyses effectuées n'ont pas mis en évidence d'impact sensible sur le milieu superficiel. Aucune émergence n'a été mise en évidence en surface, mais il est possible qu'à l'occasion de pluies fortes et durables, des sorties d'eau non pérennes se produisent dans le réseau hydrographique et soient susceptibles d'en affecter la qualité sur un tronçon dont la longueur dépend du taux de dilution. La méthodologie d'évaluation et de cartographie de cet aléa n'étant à ce jour pas validée au niveau national, aucune cartographie n'est remise avec la présente étude. De toute manière, le phénomène envisageable ici ne saurait être préoccupant.

4. CONCLUSION

Les études réalisées ont permis de repositionner dans leur environnement les anciens travaux miniers des concessions de Vèdes, Liquette, Bassan, la Fare Coudoux.

Les aléas miniers résiduels mis en évidence sont de niveau faible à moyen et sont liés aux mouvements de terrain (effondrement localisé, tassement), à l'émission de gaz de mine, à l'échauffement et à la pollution des eaux. Echauffement et pollution des eaux n'ont pas fait l'objet de cartographie en raison pour le premier de la connaissance insuffisante de la position des affleurements et de la faible probabilité du phénomène et pour le second d'une absence de validation de la méthodologie. On notera toutefois que l'impact sur l'eau lié aux travaux miniers ne peut développer a priori d'impact significatif pour la santé publique.

Les principaux risques mis en évidence sont liés à l'aléa effondrement localisé de niveau moyen qui concerne plusieurs bâtiments :

- Au quartier des Estiennes (concession de Vèdes), une dizaine de bâtiments,
- Quelques bâtiments répartis sur les sites des Lagets, de la descenderie de la Liquette et du quartier de Daurenque, de l'Intendant (concession de Vèdes) et du Braou (concession de Bassan) : pour chaque secteur, le nombre d'habitations concernées est faible.

Sur les concessions de la Fare et Coudoux, en plus de quelques bâtiments au quartier Saint Hilaire (concession de Coudoux) et des Auberges (concession de la Fare), les enjeux majeurs affectés par l'aléa effondrement localisé de niveau moyen sont de type routiers, avec la nationale 113 (quartier des Auberges), et surtout l'autoroute A8 recoupée en plusieurs endroits par des zones d'aléa moyen.

L'étude d'aléa sur un bassin de grande étendue s'opère en grande majorité sur base documentaire. Aller plus loin dans l'évaluation de l'aléa et du risque, à proximité des enjeux existants, nécessite de procéder à une reconnaissance spécifique pour affiner la réalité du risque en appréciant la géométrie et l'état des cavités, la qualité des terrains de couverture...

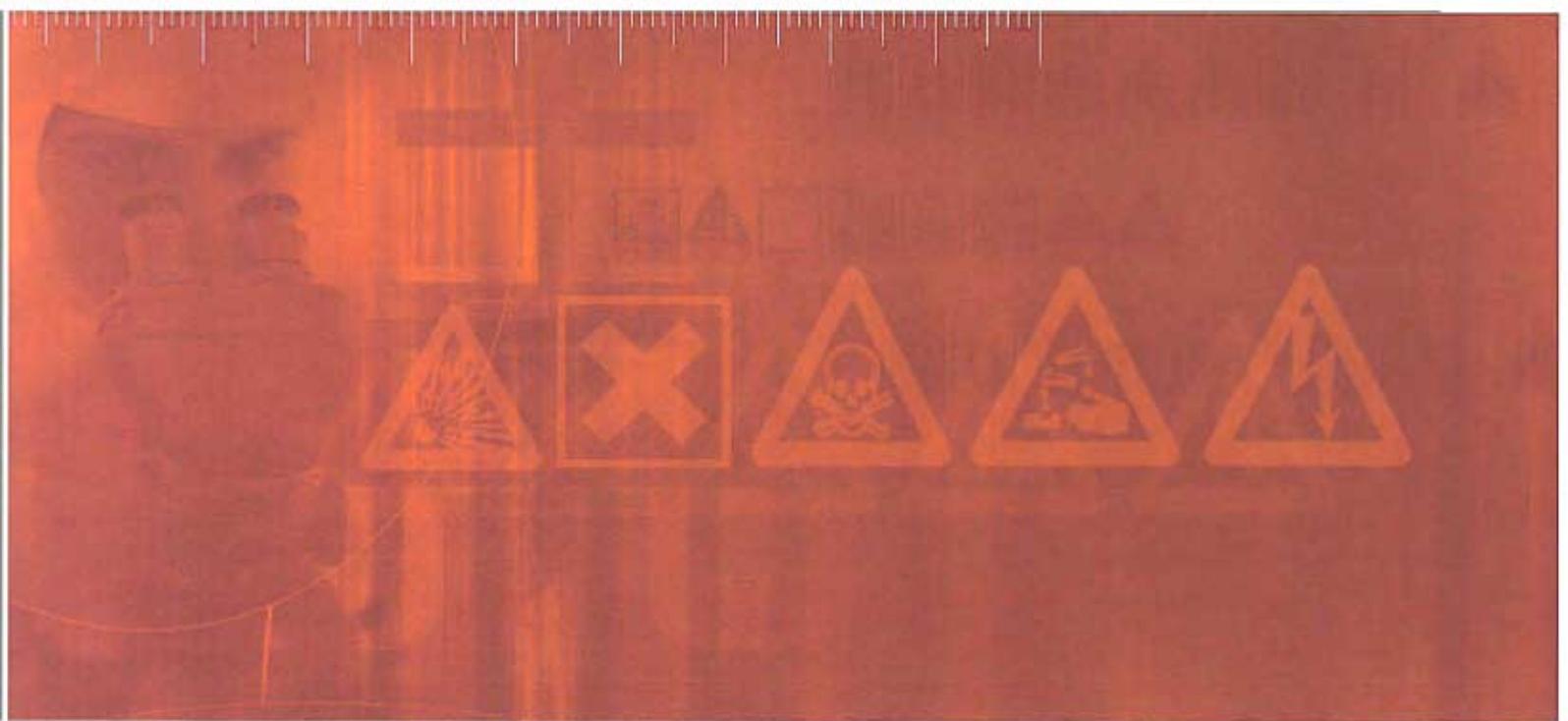
Ce type de reconnaissance est ici préconisé pour les secteurs urbanisés affectés d'aléa effondrement localisé moyen et au niveau de l'A8 et de la N113.

Aujourd'hui, par rapport aux zones de risques recensées au niveau national, les zones d'aléas affectant l'autoroute ressortent comme prioritaires (reste à vérifier que le risque a été ou non pris en compte lors de la réalisation de l'autoroute).

ANNEXE A

*Rapport de phase informative et d'aléa
INERIS-DRS-07-79530-04642A*

(hors texte)



RAPPORT D'ÉTUDE
DRS-07-79530-04642A

15 octobre 2007

**Bassin de lignite de « Vèdes - La Fare » (13)
Titres miniers de Coudoux, La Fare, Vèdes,
Liquette et Bassan
Contribution à la réalisation d'un Plan de
Prévention des Risques Miniers**

INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Bassin de lignite de « Vèdes - La Fare » (13)

Titres miniers de Coudoux, La Fare, Vèdes, Liquette et Bassan

Contribution à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers

Direction des Risques du Sol et du Sous-sol

GEODERIS

Personne ayant participé à l'étude :

Gaël Gouillon, technicien supérieur l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du sous-sol

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

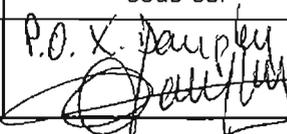
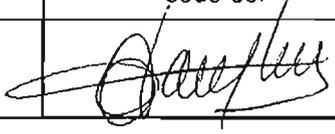
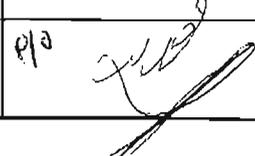
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	F. POULARD	X. DAUPLEY	C. DIDIER
Qualité	Ingénieur à l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du sous-sol	Responsable de l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du sous-sol	Directeur adjoint des Risques du Sol et du Sous-Sol
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	3
A) GENERALITES ET OBJET	9
1 PRESENTATION	9
2 DEMARCHE SUIVIE	9
2.1 La phase informative	10
2.2 La phase d'évaluation des aléas	10
3 DOCUMENTS CONSULTES ET SOURCES DES DONNEES.....	11
3.1 Listes des rapports spécifiques	11
3.2 Liste des plans	13
B) PHASE INFORMATIVE	15
1 INVESTIGATIONS SUR SITES ET CARTOGRAPHIE	15
1.1 Inspection du site	15
1.2 Matériels utilisés (précisions et normes)	15
1.2.1 Levés GPS et nomenclature	15
1.2.2 Analyses d'eau	16
1.3 Personnes et organismes rencontrés.....	16
2 CONTEXTES GENERAUX.....	17
2.1 Contexte géographique général	17
2.2 Contexte géologique général	21
2.3 Contexte tectonique général	25
2.4 Contexte lignitifère général.....	26
2.5 Contexte hydrologique général	27
2.6 Contexte hydrogéologique général	28
2.7 Contexte historique général	29
2.8 Contextes généraux d'environnement, de gaz et de feux de mine.....	30
3 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE	31
3.1 Situation géographique	31
3.2 Historique de l'exploitation souterraine.....	32
3.2.1 Concession de Vèdes.....	32
3.2.2 Concession de Liquette	33

3.2.3 Concession de Bassan	33
3.2.4 Localisations géographiques des zones de travaux	33
3.3 Géologie et tectonique locales	37
3.4 Caractéristiques locales des couches lignitifères et terrains du recouvrement	38
3.4.1 Puissance exploitée.....	38
3.4.2 Pendage des couches exploitées	39
3.4.3 Propriétés du charbon exploité	39
3.4.4 Profondeurs des couches exploitées.....	39
3.5 Hydrologie locale.....	40
3.6 Hydrogéologie locale et minière	41
3.7 Méthode d'exploitation	42
3.7.1 Quartier de Villecroze, des Lagets et de la descenderie de Liquette	43
3.7.2 Quartier du puits de Vèdes	44
3.7.3 Quartier des Estiennes, de Daurenque et du Braou	44
3.8 Production	46
3.9 Ouvrages débouchant en surface	47
3.10 Terrils	53
3.11 Désordres connus en surface	53
3.12 Gaz de mine et feux souterrains	54
3.13 Environnement	54
4 CONCESSIONS DE LA FARE ET DE COUDOUX	57
4.1 Situation géographique	57
4.2 Historique de l'exploitation souterraine.....	58
4.2.1 Concession de La Fare.....	58
4.2.2 Concession de Coudoux.....	59
4.2.3 Localisations géographiques des zones de travaux	59
4.3 Géologie locale, tectonique et terrains de recouvrement	60
4.4 Caractéristiques locales des couches lignitifères	63
4.4.1 Puissance exploitée.....	63
4.4.2 Pendage des couches exploitées	63
4.4.3 Profondeurs des couches exploitées.....	63
4.4.4 Propriétés du charbon exploité	64
4.5 Hydrologie locale.....	64
4.6 Hydrogéologie locale et minière	65

4.7	Méthode d'exploitation	65
4.7.1	Période ancienne.....	65
4.7.2	Période intermédiaire.....	66
4.7.3	Période « moderne »	66
4.7.3.1	Quartier Saint-Michel et quartier Saint-Hilaire	66
4.7.3.2	Quartier des Auberges	70
4.8	Production	70
4.9	Ouvrages débouchant en surface	70
4.10	Travaux de mise en sécurité	73
4.11	Terrils, dépôts de stériles et bâtiments.....	73
4.12	Désordres connus en surface	74
4.12.1	Quartiers Saint-Michel et des Auberges.....	74
4.12.2	Quartier Saint-Hilaire.....	74
4.13	Gaz de mine et feux souterrains	75
4.14	Environnement	75
5	CARTOGRAPHIE INFORMATIVE	77
5.1.1	Géoréférencement des travaux miniers.....	77
5.1.2	Système d'information géographique	77
5.1.3	Incertitudes de localisation	77
5.1.3.1	Incertitudes sur la position des indices miniers	77
5.1.3.2	Incertitudes sur la localisation des travaux miniers	78
6	IDENTIFICATION ET PREVISION DES ALEAS SUR LE BASSIN DE LA FARE - VEDES.....	81
6.1	Aléas répertoriés sur le secteur d'analyse.....	81
6.2	Aléas « à analyser » dans les études techniques pré-PPRM.....	82
C)	PHASE D'ALEA	83
1	DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA « MOUVEMENTS DE TERRAIN »	83
1.1	Définitions de configurations types ou zones homogènes.....	84
1.1.1	Config. A : Zones supposées d'anciens grattages sub-affleurants	84
1.1.2	Config. B : Zones supposées de chambres et piliers.....	84
1.1.3	Config. C : Zones avérées de galeries filantes	85
1.1.4	Config. D : Zones avérées de chambre et piliers ou de chambre au pendage.....	85
1.1.5	Config. E : Zones de tailles montantes	85

1.2	Analyse du phénomène d'effondrement généralisé	86
1.2.1	Prédisposition	86
1.2.1.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	86
1.2.1.2	Concessions de La Fare et Coudoux	86
1.2.2	Niveaux d'aléa	87
1.3	Analyse du phénomène d'effondrement localisé	87
1.3.1	Prédisposition	87
1.3.1.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	87
1.3.1.1.1	Config. A	87
1.3.1.1.2	Config. C	88
1.3.1.1.3	Config. B et D	90
1.3.1.1.4	Config. E	91
1.3.1.1.5	Puits	91
1.3.1.2	Concessions de La Fare et Coudoux	92
1.3.1.2.1	Config. A	92
1.3.1.2.2	Config. B et D	92
1.3.1.2.3	Config. C	92
1.3.1.2.4	Config. E	96
1.3.1.2.5	Puits	97
1.3.2	Intensité	98
1.3.2.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	98
1.3.2.2	Concessions de La Fare et Coudoux	98
1.3.3	Niveaux d'aléa	98
1.3.4	Cartographie	101
1.3.4.1	Effondrement localisé au droit d'une galerie à faible profondeur	101
1.3.4.2	Effondrement localisé à l'aplomb de travaux d'exploitation	101
1.3.4.3	Effondrement de la tête de puits	102
1.4	Analyse du phénomène d'affaissement	103
1.4.1	Prédisposition	103
1.4.1.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	103
1.4.1.2	Concessions de La Fare et Coudoux	104
1.4.2	Niveaux d'aléa	104
1.5	Analyse du phénomène de tassement	105
1.5.1	Prédisposition	105
1.5.1.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	105

1.5.1.2	Concessions de La Fare et Coudoux	105
1.5.2	Intensité	107
1.5.3	Niveaux d'aléa	107
1.5.4	Cartographie	107
2	DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA EMISSION DE GAZ DE MINE ET ECHAUFFEMENT	111
2.1	Définitions de configurations types ou de zones homogènes.....	111
2.1.1	Prédisposition	111
2.1.1.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	111
2.1.1.2	Concessions de La Fare et Coudoux	113
2.1.2	Intensité	113
2.1.2.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	113
2.1.2.2	Concessions de La Fare et Coudoux	113
2.1.3	Niveaux d'aléa	114
2.1.4	Cartographie	114
2.2	Echauffement	115
3	DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES	117
3.1	Définitions de l'unité hydrogéologique.....	117
3.1.1	Prédisposition	117
3.1.1.1	Concessions de Vèdes, Bassan et Liquette	117
3.1.1.2	Concessions de La Fare et Coudoux	118
3.1.2	Intensité	118
3.1.3	Niveaux d'aléa	119
3.1.4	Cartographie	119
4	CONCLUSION.....	121
D)	LISTE DES CARTES ET ANNEXES.....	123

A) GENERALITES ET OBJET

1 PRESENTATION

En vue de la réalisation d'un futur Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), GEODERIS a sollicité l'INERIS afin de réaliser les cartes informatives et les cartes d'aléas mouvement de terrain, environnement et gaz de mine sur les 5 anciens titres miniers de lignite de Coudoux, La Fare, Vèdes, Liquette et Bassan situés dans le département des Bouches-du-Rhône.

Exploitées à partir de la moitié du XIX^{ème} siècle et jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, pour certaines, ces concessions présentent des travaux miniers répartis sur deux ensembles géographiques distincts et distants d'environ 40 kilomètres :

- au nord de l'Etang de Berre sur les communes de La-Fare-Les-Oliviers, Ventabren, Velaux, Berre-l'Etang et Coudoux, pour les titres de Coudoux et La Fare ;
- sur les communes d'Auriol et de Roquevaire pour les titres de Vèdes, Liquette et Bassan.

Tous ces titres présentent globalement des travaux souterrains généralement peu profonds et peu étendus du fait de la configuration géologique des gisements lignitifères.

Notons que les sites miniers de La Fare, Coudoux et Vèdes, sur les titres miniers de même nom, ont fait l'objet d'une « Analyse rapide de l'aléa » lors de l'opération Scanning menée en 2005. Ces travaux ont été formalisés dans des rapports listés au paragraphe ci-après. Les travaux miniers des titres de Liquette et de Bassan n'ont pas été concernés par ces études ; mais en raison de leur proximité géographique et de leurs dates d'exploitation relativement proches, ils ont été inclus à la présente étude.

L'objet des études Scanning étant de « *soumettre les sites miniers présentant les niveaux de risque les plus préoccupants à une qualification rapide de l'aléa mouvement de terrain et de définir les priorités pour des analyses plus poussées et des mesures à prendre d'urgence* » [4], elles avaient défini :

- les sites miniers de la concession de La Fare en catégorie P1 (carte d'aléa de priorité 1) ;
- le site minier de la concession de Coudoux en catégorie P1 ;
- le site minier de la concession de Vèdes en catégorie P1.

2 DEMARCHE SUIVIE

La réalisation d'un PPRM se décompose classiquement en 4 phases principales qui se concrétisent, chacune, par l'établissement d'un document cartographique :

- la phase informative ;
- la phase d'évaluation des aléas ;
- la phase d'appréciation des enjeux ;

- la phase de zonage réglementaire et d'élaboration du règlement.

Le présent document synthétise les deux premières phases sans aborder les deux dernières qui sortent du cadre de l'étude.

2.1 LA PHASE INFORMATIVE

La phase informative d'un PPRM a pour principal objectif de collecter l'ensemble des informations disponibles (voire d'entreprendre des investigations complémentaires si elles s'avèrent nécessaires). Elle exige :

- une consultation attentive des archives d'exploitation ou de tout document susceptible de fournir des informations utiles à la caractérisation du contexte des ouvrages étudiés (géologie, hydrogéologie, méthodes d'exploitation...). L'approche documentaire et cartographique a été menée auprès des organismes susceptibles de fournir les renseignements utiles : GEODERIS, les archives de la DRIRE et les Archives Départementales, les mairies des communes concernées. Quelques personnes susceptibles d'apporter des informations relatives à la mine ont également été interrogées ;
- une campagne d'investigation sur site (repérage des travaux miniers, recherche d'anciens désordres, enquête auprès des populations...). Elle a permis de :
 - caler les plans miniers à partir des ouvrages débouchant au jour ou d'affiner les calages préalablement établis (Scanning) ;
 - donner des valeurs d'incertitude sur le positionnement des contours des exploitations par rapport à la surface ;
 - observer, à l'échelle des sites, les phénomènes d'instabilité recensés en les intégrant dans l'interprétation de l'ensemble des données collectées ;
 - relever les mouvements apparents (récents ou passés) qui n'auraient pas été répertoriés dans les archives disponibles (procès verbal ou plans) et de mettre à jour la localisation des dégâts de surface sur la carte informative ;
 - lever les doutes ou incertitudes révélés par les études Scanning.

Cette phase de l'étude donne naissance à l'établissement d'une carte informative qui a pour principale vocation d'informer et de sensibiliser la population aux risques et nuisances pressentis. Le recensement des anciens désordres ayant affecté le site par le passé (inondations, mouvements de terrain...) permet en effet de justifier le bien fondé de la démarche de prévention entreprise.

Dans l'opération Scanning, des investigations sur le terrain avaient déjà été menées mais « *adaptées en fonction de l'objectif de traiter un site en une semaine en valorisant l'information facilement disponible tant dans les dossiers que sur le terrain, sans viser à l'exhaustivité* » [4]. Ainsi, ces étapes ont été complétées et approfondies dans le cadre de la présente étude.

2.2 LA PHASE D'EVALUATION DES ALEAS

La phase d'évaluation des aléas a pour objectif de localiser et de hiérarchiser en plusieurs niveaux les zones exposées à des phénomènes potentiels, en fonction

de leur intensité et de leur probabilité d'occurrence prévisible. Cette évaluation n'intègre pas la nature de l'occupation de la surface. Elle transcrit, de manière objective, le potentiel de risque ou de nuisances que l'ancienne exploitation minière est susceptible d'engendrer, à terme, dans le secteur d'étude.

Cette phase requiert un niveau d'expertise technique élevé. Elle est, de fait, souvent confiée par le service instructeur à un organisme ou un bureau d'étude spécialisé dans le domaine concerné. La méthode d'évaluation adoptée doit être expliquée de manière aussi transparente que possible pour faciliter l'adhésion des futurs utilisateurs.

Cette phase de l'étude donne naissance à l'établissement d'une, ou de plusieurs, cartes qui localisent les zones d'aléas identifiées par la démarche d'évaluation. Ces documents conditionnent, dans une large mesure, la définition du zonage réglementaire. Une attention toute particulière doit donc être apportée à leur caractère synthétique, didactique et aisément interprétable.

3 DOCUMENTS CONSULTES ET SOURCES DES DONNEES

Les documents concernant les concessions étudiées sont essentiellement :

- des documents anciens (dont l'objectif était de suivre l'exploitation minière) : rapport des ingénieurs des mines, des procès-verbaux (PV) de visite ;
- des rapports d'études techniques plus récents (dont l'objectif est de gérer les risques miniers) ;
- des documents cartographiques de l'exploitation.

Les documents les plus importants sont listés ci-après. Ils proviennent principalement des archives de la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur (DRIRE PACA), des Archives Départementales des Bouches-du-Rhône, des Archives de GEODERIS à Alès et des Archives de l'antenne du BRGM à Marseille.

3.1 LISTES DES RAPPORTS SPECIFIQUES

- [1] Qualification rapide de l'aléa du site de Vèdes (Commune d'Auriol, Bouches-du-Rhône), F. POULARD, Rapport INERIS référencé DRS-05-66305/R03 du 30 janvier 2006 ;
- [2] Qualification rapide de l'aléa du site de La Fare (Communes de la Fare-les-Oliviers et de Coudoux, département des Bouches-du-Rhône), F. POULARD, Rapport INERIS référencé DRS-05-66305/R08, du 30 janvier 2006 ;
- [3] Qualification rapide de l'aléa du site du Cavaou (Communes de Coudoux et de Ventabren, département des Bouches-du-Rhône), V. MARTINET, Rapport INERIS référencé DRS-05-66305/R11 du 30 janvier 2006 ;
- [4] Scanning des titres miniers - Rapport Méthodologique, F. POULARD, Rapport INERIS référencé DRS-05-66305/R04 du 31 décembre 2005 ;
- [5] L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers - Guide Méthodologique - Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa, Rapport INERIS référencé DRS-06-51198/R01 du 4 mai 2006 ;

- [6] Elaboration de la phase informative du PPRM concernant les anciennes concessions de lignite du Bassin de Provence, détenues par Charbonnages de France, Rapport INERIS référencé DRS-06-70734/R01 du 19 avril 2006 ;
- [7] Ancienne Concession de Coudoux - Travaux de mise en sécurité d'orifices miniers, MICA Environnement 01-121, décembre 2000.
- [8] Ancienne Concession de Coudoux, Mise en sécurité de la descenderie de l'Abondance à Coudoux, Rapport MICA Environnement référencé 01-441, novembre 2001 ;
- [9] Ancienne Concession de Coudoux - Compte rendu des travaux de mise en sécurité réalisés, Rapport MICA Environnement référencé 02-433, décembre 2002 ;
- [10] Ancienne Concession de La Fare - Rapport final d'exécution de travaux de mise en sécurité d'orifices miniers, Rapport MICA Environnement référencé 03-511, novembre 2003 ;
- [11] Ancienne Concession de La Fare - Mise en sécurité de la descenderie Saint-Michel, Rapport MICA Environnement référencé 01-285, juillet 2001 ;
- [12] Ancienne Concession de La Fare - Mise en sécurité de la descenderie Saint-Michel - Compte-rendu des travaux réalisés, Rapport MICA Environnement référencé 01-440, novembre 2001 ;
- [13] Gardanne - livret guide excursion 26^{ème} congrès géologique international DURAND J.P, GAVIGLIO, GONZALES G, VETTER P, Industrie Minérale, juin 1980 ;
- [14] Etude hydrogéologique des travaux miniers de la région de Gardanne (13), CESAME, 2002 ;
- [15] Fonctionnement hydrogéologique des exploitations de lignite du bassin de Fuveau (Bouches-du-Rhône), Thèse de doctorat de l'Université de Franche-Comté , A CHALUMEAU, 2000 ;
- [16] Les lignites fuvéliens de Provence, Rev. Industrie minérale suppl. Mine, n°2, p. 101-110, DURAND J.P. (1977) ;
- [17] Procès Verbal de visite - Concessions des mines de lignite de Vèdes, 6 avril 1905 ;
- [18] Procès Verbal de visite - Concessions des mines de lignite de Bassan, 7 août 1906 ;
- [19] Rapport de l'Ingénieur en chef de la demande en renonciation de MM Romain Boyer et Cie aux trois concessions des mines de lignite de Vèdes, Liquelette et Bassan, dossier n°152 du service des Mines – Arrondissement minéralogique de Marseille, 4 mai 1911 ;
- [20] Rapport du Subdivisionnaire (Messieurs Rigaudias et Genty) relatif aux travaux de mise en sécurité dans l'optique de la demande de renonciation, 7 avril 1911 ;
- [21] Rapport de l'Inspecteur général faisant suite à la demande de renonciation, conseil général des Mines - arrondissement minéralogique de Marseille, 5 juin 1911 ;

[22] Rapport de l'Ingénieur subdivisionnaire relatif à la remise en état des lieux suite à un affaissement des terrains sur la parcelle de Monsieur Morlat, 20 avril 1983.

Notons qu'un dossier de renonciation aux concessions de Vèdes, Liquette et Bassan est mentionné de nombreuses fois mais il n'a jamais été retrouvé ; seul l'avis de l'Ingénieur en chef sur la demande en renonciation [19] a été compulsé et analysé.

De même, pour les concessions de Coudoux et de La Fare qui ont fait l'objet d'un dossier de renonciation, lequel dossier « avait disparu » des Archives de la DRIRE PACA. Même la DDE 13, les mairies de Coudoux et de La Fare, la mairie de Marseille et l'actuelle Société des Sucres de Saint-Louis (dernier titulaire connu) n'ont pu retrouver un seul exemplaire de ce dossier. L'étude des exploitations minières de Coudoux et de La Fare s'appuie sur des documents de synthèse (référéncés [9], [10], [11] et [12]) élaborés à partir de ces archives manquantes.

3.2 LISTE DES PLANS

- [23] Plan minier du quartier Saint Hilaire, Echelle 1/1000, décembre 2002, plan annexé au document [7] ;
- [24] Plan minier du quartier Saint-Hilaire, Emprise cadastrale, Echelle 1/1000, mis à jour en février 2003, plan annexé au document [7] ;
- [25] Plan minier du quartier des Auberges, Emprise cadastrale, Echelle 1/1000, mis à jour janvier 2004, plan annexé au document [10] ;
- [26] Plan minier du quartier Saint-Michel, Emprise cadastrale, Echelle 1/1000, mis à jour février 2003, plan annexé au document [10] ;
- [27] Extrait du plan des Mines de Vèdes - Pour demande de fonçage d'un puits vertical, Echelle 1 / 1000 ; août 1833
- [28] Mine de Vèdes et Liquette à MM. Romain, Boyer et C^{ie} (vraisemblablement annexé à la demande de renonciation), Echelle 1/1000, 1905 ;
- [29] Mine de charbon et lignite de Bassan - Commune d'Auriol, Département des Bouches-du-Rhône - Projection horizontale et verticale des travaux exécutés, Echelle 1 /1000, 1831 ;
- [30] Vèdes, Liquette et Bassan - Plan à l'échelle de 1 mètre pour 20000, non daté ;
- [31] Concessions de Vèdes - Plan des travaux de Dauringues, Echelle 1/500 ;
- [32] Concession de Bassan (Auriol) B-du-R - Travaux exécutés par M^{ss} Romain, Boyer et C^{ie}.

B) PHASE INFORMATIVE

Cette phase comporte trois parties : une première décrivant les investigations de sites, une seconde présentant les contextes généraux, à une échelle régionale, auxquels peuvent être rattachés les travaux miniers des 5 concessions concernées et une troisième décrivant, concession par concession, les données essentielles à l'analyse.

1 INVESTIGATIONS SUR SITES ET CARTOGRAPHIE

1.1 INSPECTION DU SITE

L'enquête sur le terrain a été effectuée du 13 au 17 novembre 2006 puis du 27 février au 2 mars 2007 par Gaël GOUILLON (INERIS) en présence d'Olivier LEFEBVRE (GEODERIS).

Notons que la phase « terrain » de l'étude Scanning de ces sites miniers avait été menée du 4 au 8 juillet 2005, en septembre et en novembre 2005.

Les recherches sur le terrain ont été menées à partir :

- des premiers calages des éléments cartographiques issus de la synthèse des informations géographiques provenant des rapports des études Scanning et des premiers documents d'archives ;
- des témoignages des riverains et des personnes ayant une bonne connaissance des vestiges miniers.

Ces visites ont permis de repérer un certain nombre de vestiges liés à la mine (ouvrages débouchant en surface, anciens bâtiments de mine, affleurement, terrils, désordres...).

Par ailleurs, une campagne de mesures sur différents points d'eau proches des travaux miniers a été réalisée le 11 novembre 2006. Les principaux résultats sont fournis dans ce rapport pour chaque concession ou quartiers exploités.

1.2 MATERIELS UTILISES (PRECISIONS ET NORMES)

1.2.1 LEVES GPS ET NOMENCLATURE

Le levé de l'ensemble de ces « indices miniers » et des points de prélèvements d'eau a été réalisé à l'aide :

- d'un dGPS de type Pro XRS (Géoexplorer 3), offrant une précision de localisation de quelques décimètres en post-traitement ;

- d'un dGPS de type Pro XT, offrant une précision de localisation de moins de 5 mètres en post-traitement.

Ces indices ont été nommés suivant une nomenclature à 3 éléments définie de la manière suivante :

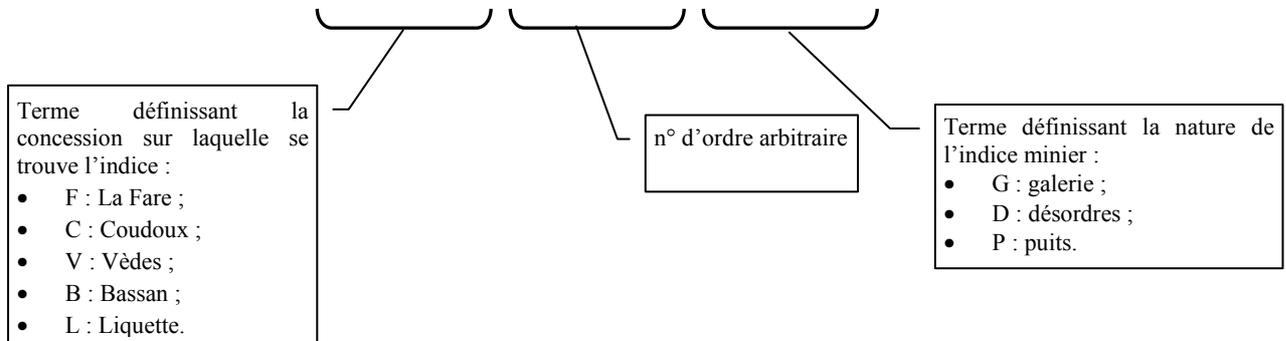


Figure 1 : Nomenclature des indices miniers

1.2.2 ANALYSES D'EAU

Les analyses d'eau ont été réalisées au laboratoire WESSLING d'Oppin. Les méthodes et référentiels d'analyses sont :

- EN ISO 10304 D19/D20 pour les sulfates ;
- DIN EN ISO 11885 / ISO 17294-2 pour les métaux / éléments sur eau / lixiviat (ICP) ;
- DIN EN 1483 pour le mercure sur eau / lixiviat (SAA).

Les résultats de ces analyses sont présentés concessions par concessions aux paragraphes 3.13 de la partie B) (page 54) et 4.14 de la partie B) (page 75).

1.3 PERSONNES ET ORGANISMES RENCONTRES

Au cours des investigations plusieurs personnes ont collaboré à la phase de recherche de données, certaines ont été contactées à l'occasion des études Scanning (notées (a) à (i) ci-après) et d'autres lors des enquêtes relatives à la présente étude (notées (j) à (k) ci-après) :

- DRIRE PACA : M René Beaudoin ;
- Mairie de Ventabren : responsable du Service de l'Urbanisme ;
- Mairie de La Fare-les-Oliviers : responsable du Service de l'Urbanisme ;
- Mairie d'Auriol : Monsieur Fabre, responsable du Service de l'urbanisme et Monsieur l'adjoint au Maire ;
- Mairie de Roquevaire : M. Niel, maire ;
- riverain(s) de la route du « Mas du Sous-Bois » (concession de Coudoux) ;
- M Vallauray propriétaire de terrain proche de secteurs sous-minés (concession de Vèdes, secteur du puits de Vèdes).

- (h) contact téléphonique avec les sociétés SCETAUROUTE (maître d'œuvre du projet de l'autoroute A8) et Autoroute du Sud de la France (ASF), District de Salon-de-Provence (maître d'ouvrage) ;
- (i) ancien mineur (concession de La Fare, quartier des Auberges) : M Antoine Diaz ;
- (j) M Delaurentis propriétaire de terrains proches de secteurs sous-minés (concession de Vèdes) ;
- (k) M Morlat : propriétaire de terrains proches de secteurs sous-minés (concession de Vèdes).

2 CONTEXTES GENERAUX

2.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE GENERAL

L'expression même de « Bassin de Vèdes - La Fare » n'a pas de réalité géographique. Ce pseudo « bassin » a été créé pour les besoins de l'étude. En effet, le secteur correspondant à cette dénomination se présente en deux sous-ensembles disjoints et distants d'environ 40 km l'un de l'autre à vol d'oiseau.

Ces deux unités se situent aux extrémités orientale et occidentale du bassin de lignite de Provence (ou bassin lignitifère de Fuveau) exploité par les Houillères de Bassin du Centre et du Midi (HBCM) en Provence occidentale, entre les villes d'Aix-en-Provence et de Marseille. Il s'étend sur 70 km de long, d'est en ouest, depuis Saint-Maximin, jusqu'à l'Etang de Berre, en s'élargissant sensiblement dans sa partie occidentale. Dans sa largeur, du nord au sud, il se développe sur une douzaine de kilomètres depuis Aix-en-Provence jusqu'à Marignane.

A l'extrémité sud-est du bassin de Provence, sur les communes de Roquevaire et d'Auriol à environ 5 km au sud de la Montagne de Regagnas et sous le plan d'Aups à environ 5 km au nord de l'extrémité occidentale de la chaîne de la Sainte-Baume, se situent les concessions de Bassan, Liquette et Vèdes constituant une première unité du secteur étudié ici.

La seconde unité, formée par les concessions de La Fare et de Coudoux, se localise à l'extrémité nord-ouest du bassin de Provence, sur les communes de La-Fare-Les-Oliviers, Ventabren, Velaux, Lançon de Provence, Coudoux et Berre-l'Etang à environ 8 km au nord de l'extrémité orientale de l'Etang de Berre (Figure 2).

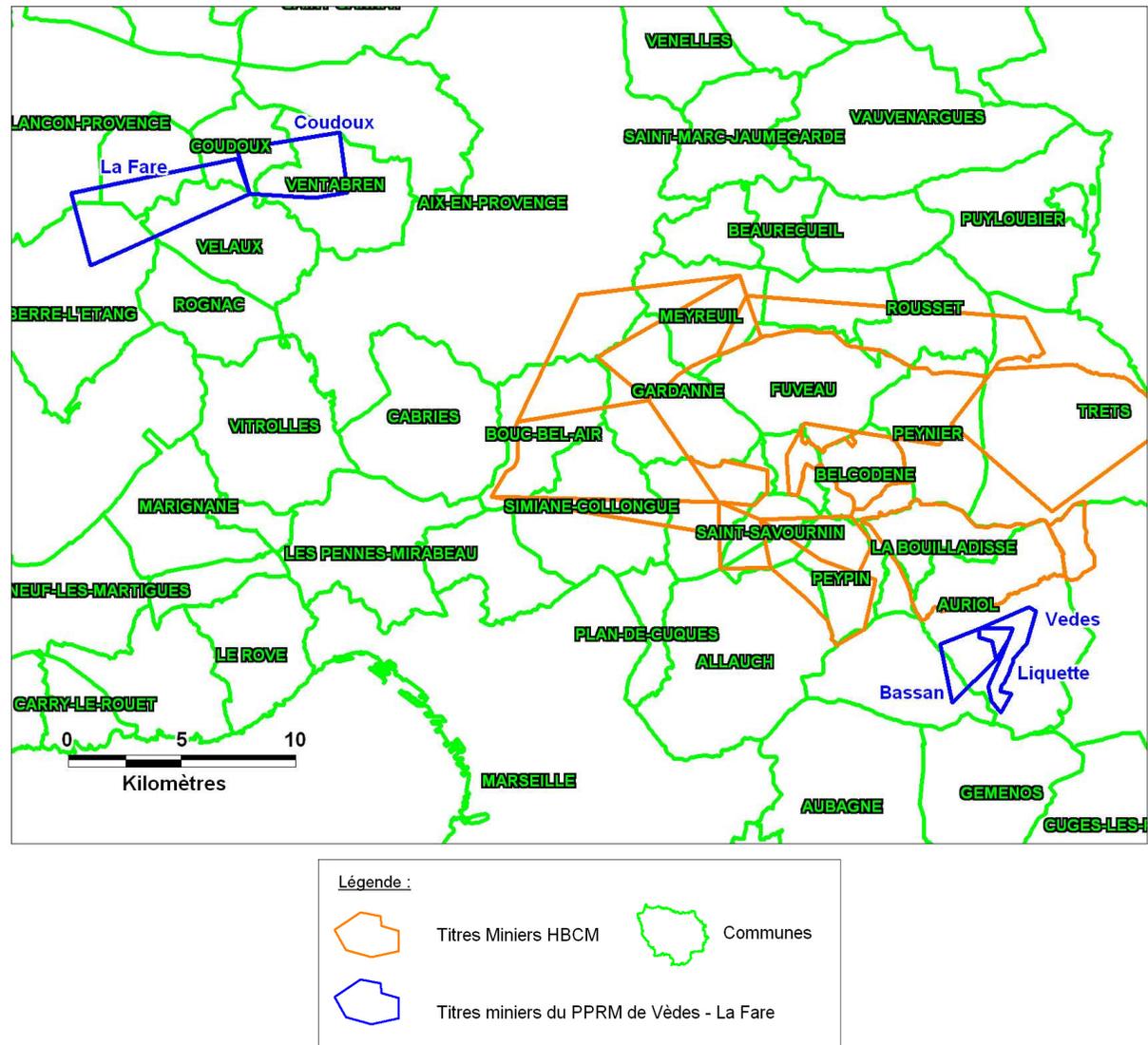


Figure 2 : Localisations des concessions de Coudoux, La Fare, Vèdes, Liquette et Bassan.

2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL

Le bassin de Provence, auquel peuvent être rattachées les deux unités de Vèdes - La Fare, est marqué par une longue histoire de sédimentation marine. Il a subi une émergence liée à la phase tectonique anté-cénomaniennne, puis plusieurs régimes de transgression et régression marines (durant le Cénomaniennne, le Turonien, le Rognacien et le Santonien) et finalement il a été soumis au milieu continental fluvio-lacustre (région de Marseille-Cassis-Le Beausset).

Ce cadre particulier a permis le développement d'une macroflore, dont le lignite, présent au sein de la formation calcaire du Crétacé supérieur du Fuvélien, est originaire.

Sur le plan stratigraphique, les trois formations suivantes (du bas vers le haut), intéressent directement les terrains du bassin de Provence.

- le Valdonnien : il est constitué à sa base par des argiles rougeâtres comprenant des lentilles gréseuses et des passées ligniteuses. Elles sont surmontées par des marnes grises et, finalement, des calcaires lacustres au sommet. Son épaisseur moyenne est comprise entre 70 et 100 m ;
- le Fuvélien : il est constitué de bancs calcaires gris-bleu, continus, micritiques, souvent très durs et pyriteux, dont certains horizons furent autrefois exploités comme pierre à ciment. Cette formation renferme un faisceau de veines et veinules de lignite dont les 7 couches exploitables du gisement houiller de Provence. Le Fuvélien peut présenter plusieurs faciès allant de formations massives constituées de gros bancs à des formations plus litées de calcaire en plaquettes. L'épaisseur normale de l'étage est de 200 m, mais peut atteindre 300 m dans le lambeau charrié de Gardanne et se réduire à 150 m vers l'Est. Les formations fuvéliennes sont surtout présentes à l'affleurement dans une zone de 10 km sur 10 km située entre le village de Fuveau et de Regagnas ;
- le Bégudien : il correspond à la couverture formant les terrains sus-jacents du bassin houiller. D'une épaisseur souvent voisine de 300 m, cet étage correspond généralement à des dépôts argilo-marneux, rouges à lie-de-vin, présentant des lentilles de grès grossier irrégulièrement réparties. A Fuveau, toutefois, on observe plutôt une intercalation de bancs calcaires avec des marnes grises ainsi que des argiles ou des grès. Le passage des calcaires aux marnes peut s'observer entre Trets et Fuveau par des variations géomorphologiques.

Une coupe schématique de l'ensemble du Valdonnien au Lutétien et une coupe schématique de détail des formations fuvéliennes sont présentées sur la Figure 3. Une vue d'ensemble de la géologie du bassin est donnée sur la Figure 4.

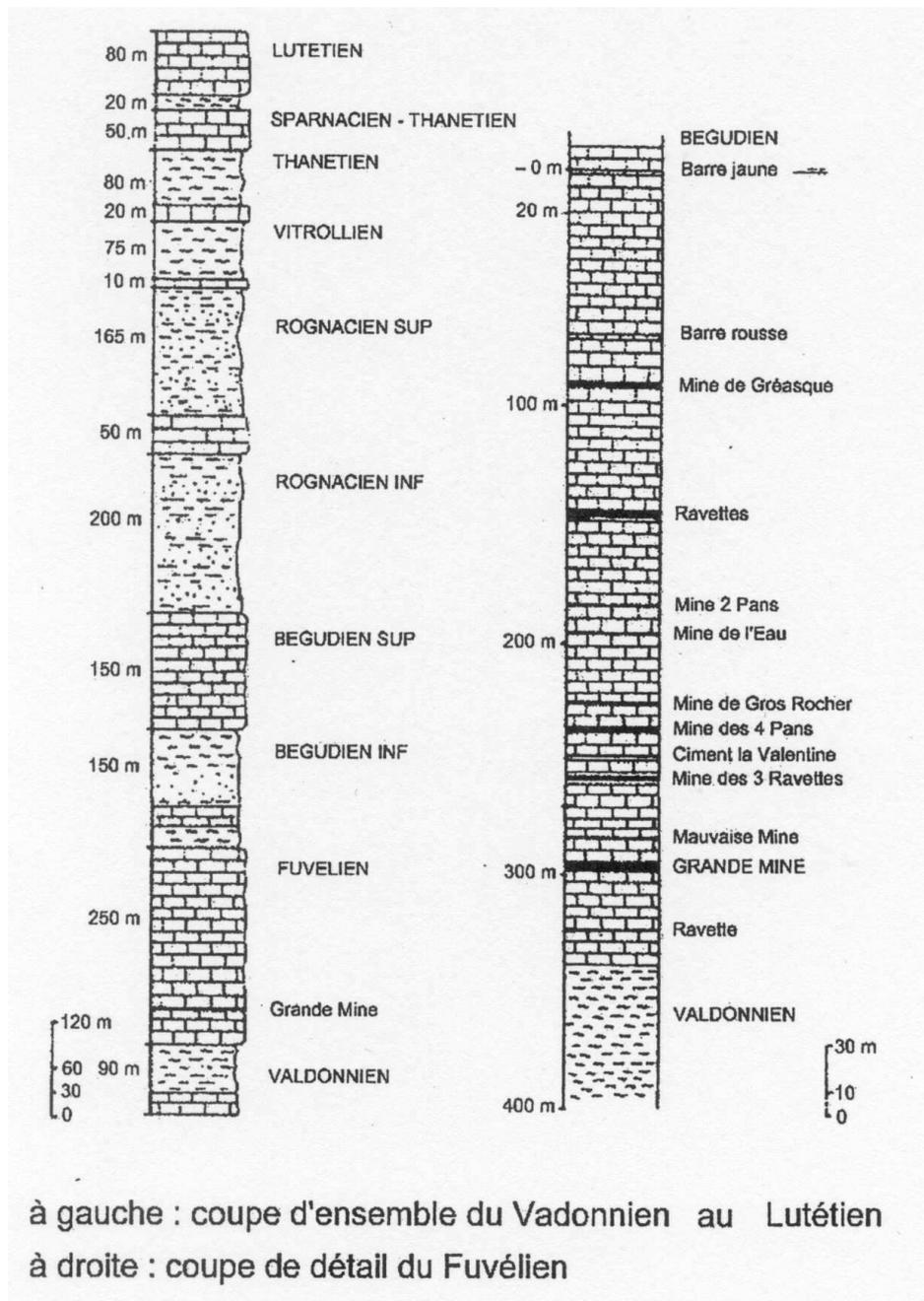


Figure 3 : Coupes stratigraphiques du bassin de l'Arc (d'après [13])

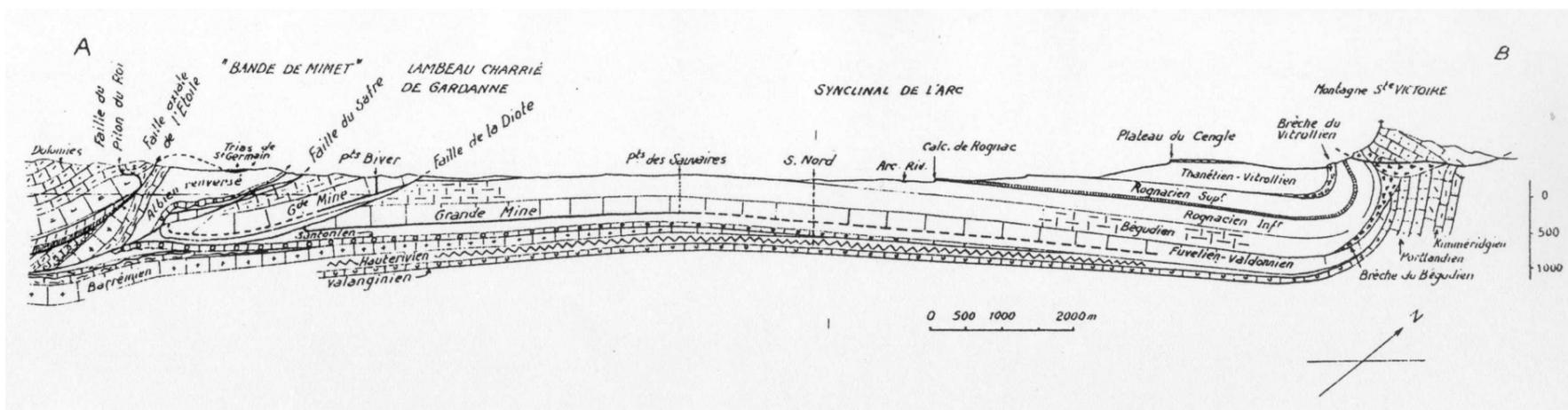
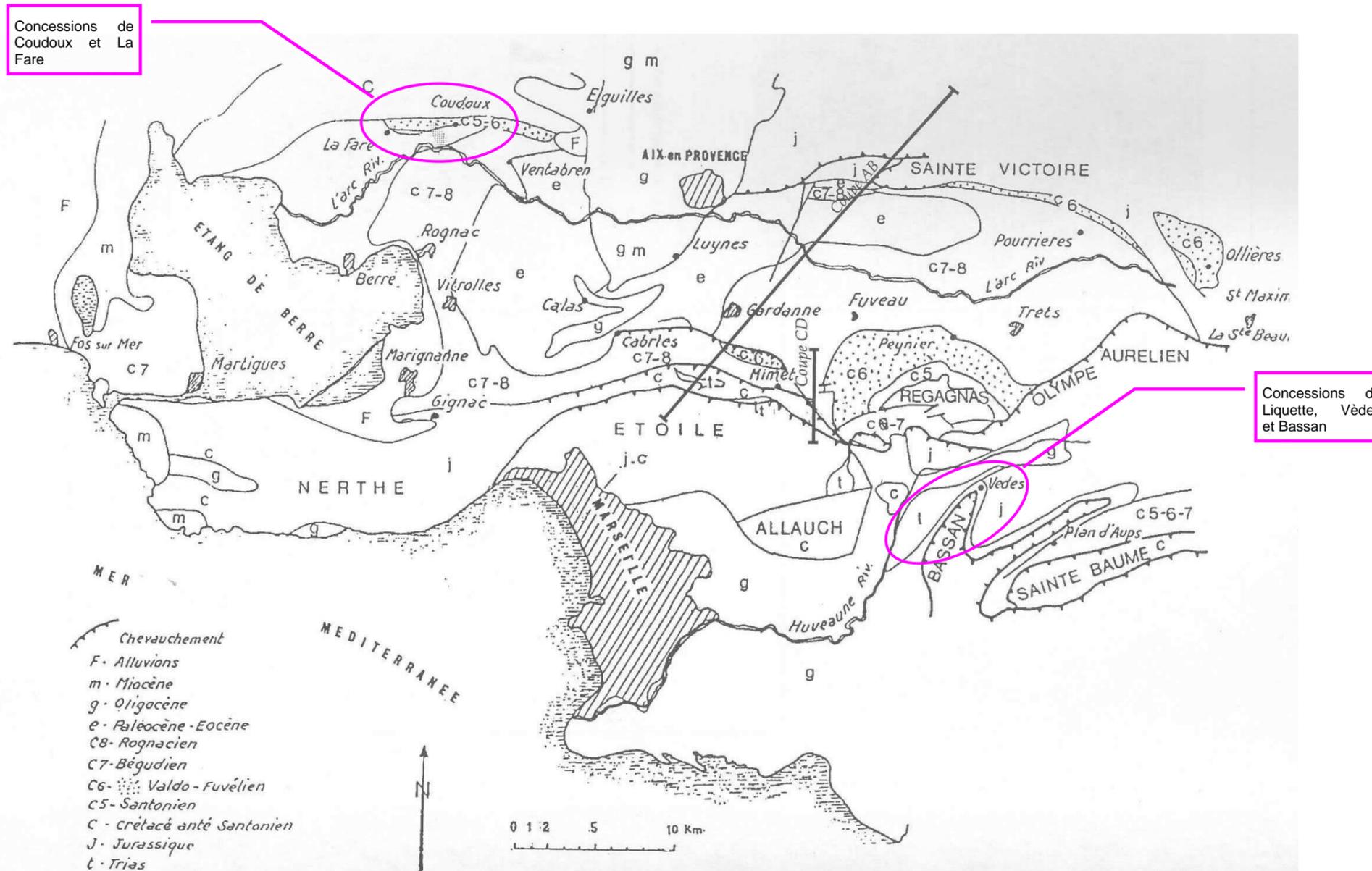


Figure 4 : Carte géologique du bassin [15] et coupe sud – nord du bassin de l’Arc, passant par la galerie de la mer et le Massif de la Sainte-Victoire (d’après [13])

2.3 CONTEXTE TECTONIQUE GENERAL

Après le dépôt du Fuvélien, la phase tectonique marquant la fin du crétacé, dite « ante-maastrichtienne », crée la plupart des anticlinaux et des synclinaux de Basse-Provence dont celui du bassin de l'Arc dans lequel se situe le lignite du bassin de Provence.

Ce dernier se présente comme un synclinal dissymétrique dont le cœur est peu déformé, malgré la présence d'accidents transverses. Les bordures sont constituées de structures complexes, résultant de deux événements tectoniques majeurs qui sont venus perturber la structure initiale plutôt simple :

- au sud de Gardanne, le Massif de l'Etoile a chevauché la bordure méridionale du bassin de l'Arc entraînant, à son front, une écaille charriée ou « lambeau de Gardanne » appelé aussi « Lambeau charrié » (principe détaillé en Figure 5) ;

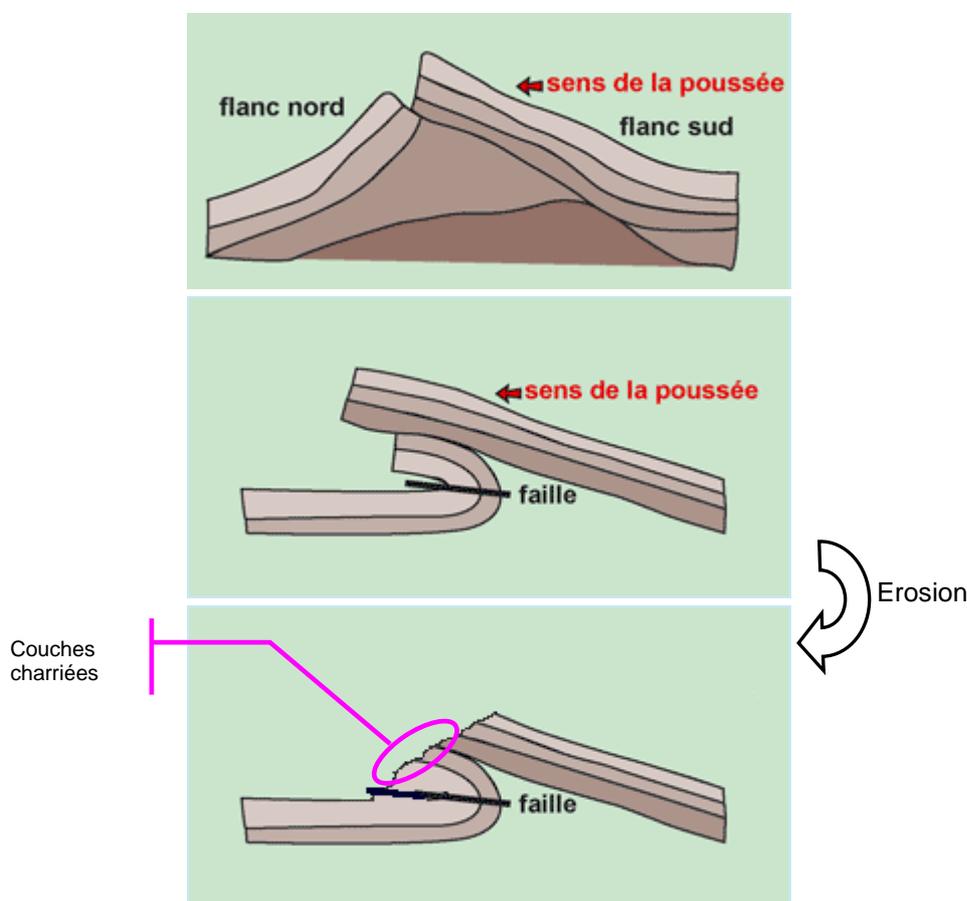


Figure 5 : Principe du charriage

- au nord, la montagne Sainte-Victoire est charriée sur une série très redressée et en partie déversée vers le sud.

Entre ces deux accidents majeurs, la série est assez régulière et contient le gisement dit « en place », par opposition à celui présent au sein du Lambeau charrié.

La faille d'Aix, accident géologique majeur, sépare le bassin en deux compartiments présentant des différences morphologiques marquées. Dans la partie orientale du bassin, au méridien du Grand Puech à Mimet, les failles sont orientées NNE-SSW et ont joué en extension, alors que vers l'ouest, elles découpent le gisement selon une orientation NNW-SSW en jouant, cette fois, en extension.

2.4 CONTEXTE LIGNITIFERE GENERAL

Le gisement houiller du bassin de Provence (donc celui de Vèdes - La Fare), est inclus dans la série fuvélienne. Le lignite se présente soit sous forme de filets de quelques millimètres d'épaisseur, généralement sans continuité, soit sous forme de veinules de quelques centimètres d'épaisseur appelées « ravettes », soit et surtout sous forme de sept couches exploitables appelées « mines ».

Les terrains du Fuvélien dans lesquels sont « encaissées » ces couches sont constitués de bancs calcaires gris-bleu ; pouvant présenter plusieurs faciès allant de formations massives constituées de gros bancs à des formations plus litées de calcaire en plaquettes.

Parmi ces couches, 7 ont pu être exploitées. Ces différentes couches s'échelonnent, du toit vers le mur de la formation fuvélienne, de la manière suivante : Mine de Fuveau ou de Gréasque, Mine des Deux Pans, Mine de l'eau, Mine du Gros Rocher, Mine des Quatre Pans, Mauvaise Mine et Grande Mine.

La puissance des couches est très variable d'une extrémité à l'autre du bassin. Par exemple, la puissance de Grande Mine souvent prise comme référence varie de 1,80 m à 3,50 m (gisement en place) et de 4,20 m à 5,30 m (dans le Lambeau Charrié).

Le charbon du gisement de Provence est un lignite « évolué » proche des houilles sèches à longue flamme (« flambants secs »), riche en matières volatiles avec très peu de goudron. Sa teneur en carbone total est de l'ordre de 60 % et son pouvoir calorifique brut de l'ordre de 6000 kcal/kg. Cette qualité tend à diminuer fortement dans les bordures du bassin.

Les deux tableaux ci-après synthétisent les principales caractéristiques élastiques obtenues en compression simple sur le charbon et le calcaire, d'une part, et, les principaux critères de rupture obtenus sur le charbon et le calcaire à partir d'essais triaxiaux, d'autre part.

Matériau	Laboratoires d'essais	Module Young E (MPa)	Résistance max. Rc (MPa)	Coefficient de Poisson
CHARBON	Ghoreychi (1982) CERCHAR – LMS	2330	28,3	-
	CERCHAR (1990)	2000	25,9	-
	ENSG 1991	3500	32,4	0,29
	CGES (2002)	2970	23,0	0,22
CALCAIRE	CERCHAR 1983	9000 - 23000	40 - 178	-
	CERCHAR 1987 – 1994	-	85 - 179	-
	U.E.Provence synthèse	15000 - 50000	80 - 140	0,2 – 0,3
	CGES (2002) calcaire 1	49000 - 54000	52 - 174	0,25
	CGES (2002) Calcaire 2	15000 - 36000	79 - 155	0,23

Tableau 1 : Synthèse des principales caractéristiques élastiques du charbon et du calcaire à l'échelle du bassin de Provence

Matériau	Laboratoires d'essais	Résistance max. (MPa)	Cohésion (MPa)	Angle de frottement interne (degrés)
CHARBON	Ghoreychi (1982) CERCHAR – LMS	25	6,5	37
	ENSG 1991	32	7,5	40
	CGES (2002)	28	7,5	33
CALCAIRE	CERCHAR 1983	90	15,0	53
	CGES (2002) calcaire 1	85	11,4	60
	CGES (2002) Calcaire 2	94	16,3	52

Tableau 2 : Synthèse comparative des critères de rupture concernant le charbon et le calcaire à l'échelle du bassin de Provence

2.5 CONTEXTE HYDROLOGIQUE GENERAL

Dans les zones concernées par les travaux des HBCM le réseau hydrographique s'organise autour de l'Arc (cours d'eau prenant sa source dans la région de Pourcieux et se jetant dans l'Etang de Berre), ce bassin versant concerne aussi les exploitations des concessions de la Fare et Coudoux. L'écoulement général se fait d'est en ouest sur un substratum argileux constitué par les formations du Bégudien et du Rognacien. L'Arc est alimenté par une trentaine d'affluents (La Luyne, Grand Vallat,...) collectant les eaux de 5 grands bassins versants.

Les concessions de Vèdes, Liquette et Bassan plus au sud-est n'appartiennent plus au bassin versant précédent, elles se situent dans celui de l'Huveaune (cours d'eau côtier de 52 kilomètres de long prenant sa source dans le massif de la Sainte-Baume et se jetant à Marseille dans la Mer Méditerranée). Son débit mesuré à la station de jaugeage de Roquevaire atteint 200 l/s. L'Huveaune est alimentée par des affluents provenant de la Sainte-Baume, le Peyruis, la Vède, le Fauge, le ruisseau du Roux et le Merlançon.

2.6 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL

Seule l'hydrogéologie du centre du bassin de Provence, zone où se sont concentrés les travaux miniers les plus importants (HBCM), est décrite en détail dans la littérature ([14] et [15]). La situation hydrogéologique aux bordures de ce bassin n'y est pas analysée.

On retiendra, que les concessions de Coudoux et de La Fare peuvent être rattachées à l'une des 4 quatre principales entités hydrogéologiques du bassin de Provence : le secteur nord-ouest du bassin. Le Fuvélien y est très peu perméable du fait d'un massif rocheux peu fissuré et d'une tectonique locale qui joue en compression. A cette circulation lente des eaux s'ajoute une recharge limitée par la faible perméabilité des terrains de recouvrement argileux dont la puissance augmente en se dirigeant vers l'ouest. De plus, le gisement du bassin de Provence, développé au sein d'une sédimentation marno-calcaire, est fortement influencé par les écoulements souterrains d'origine karstique.

Les concessions de Vèdes, Bassan et Liquette sont « exclues » de l'hydrogéologie du bassin de Provence, elles se rattachent plutôt à celle de la Sainte-Baume. Les chaînons et massifs karstiques de la Sainte-Baume se comportent comme d'immenses « châteaux-d'eau » où, malgré l'aridité apparente et trompeuse des surfaces rocheuses, de grandes masses d'eau sont mises en réserve. Les terrains relativement dégradables et imperméables des bassins et dépressions, qui entourent la Sainte-Baume, (Cuvettes Marseillaise, Toulonnaise, Brignolaise) sont traversés par des rivières qui trouvent leur source dans le Massif même (Huveaune, Gapeau, Caramy).

Les paysages sont très nettement marqués par le type et la couleur de la végétation suivant qu'elle est nourrie par un gîte aquifère, ou qu'elle se situe en dehors et au-dessus des émergences.

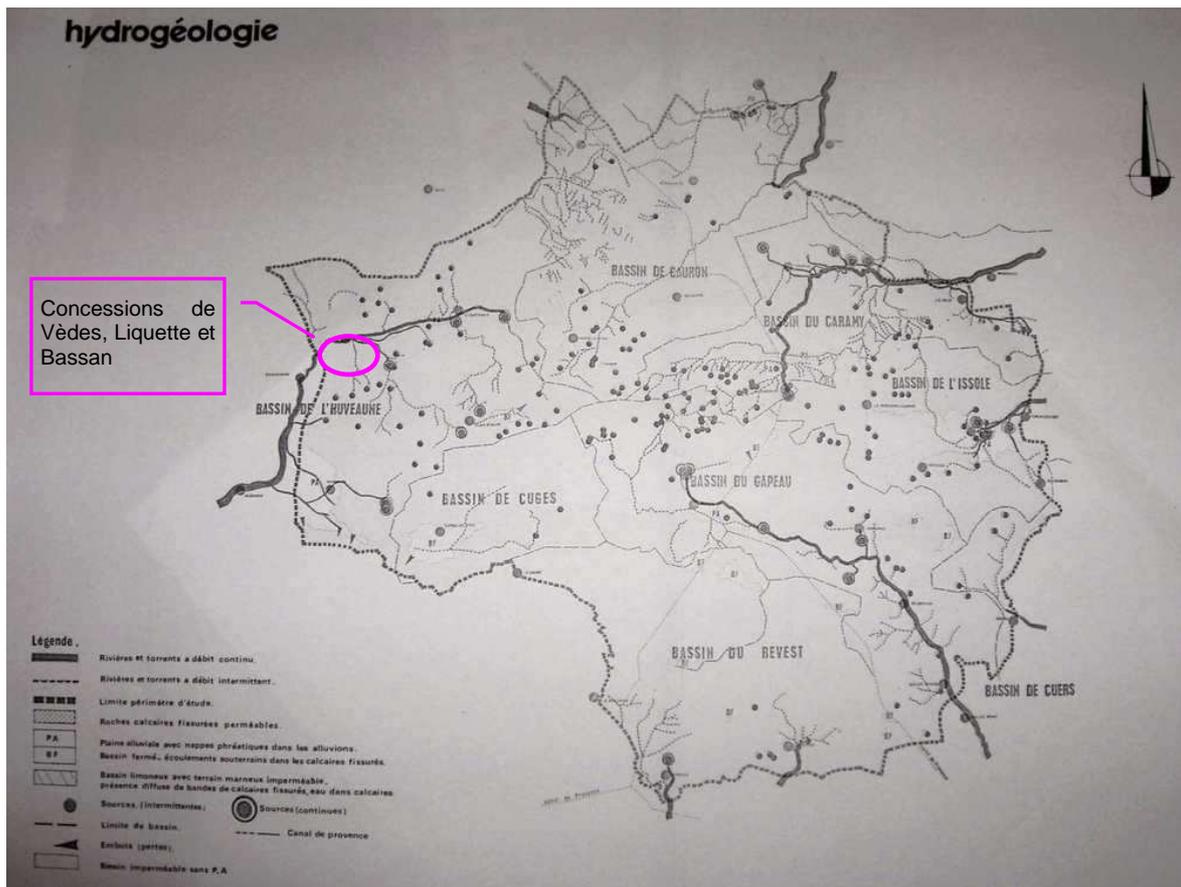


Figure 6 : Hydrogéologie de la Saint-Baume
(source : Association Fraternité de Sainte-Marie Madeleine)

2.7 CONTEXTE HISTORIQUE GENERAL

Si d'un point de vue géologique, tectonique, et en partie hydrologique et hydrogéologique, le rattachement des exploitations de Vèdes - La Fare aux exploitations du bassin de Provence par les HBCM semble essentiel ; ce n'est pas le cas pour l'historique des exploitations. En effet, les travaux miniers n'ont pas été menés par les mêmes exploitants (messieurs Romain, Boyer et Compagnie pour les trois concessions de Bassan, Liquette et Vèdes, la Société des raffineries de sucre de Saint-Louis pour la concession de La Fare et la Compagnie minière de La Fare pour la concession de Coudoux). Il n'est donc pas utile de rappeler dans ce rapport l'historique, parfois complexe des travaux des HBCM sur le centre du bassin de Provence.

Les principales caractéristiques administratives des cinq concessions concernées ici sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Concessions	Communes concernées	S (ha)	Date d'institution	Date d'arrêt des travaux	Dernier exploitant ou titulaire	Production (tonnes)	Date de renonciation
La Fare	La-Fare-Les-Oliviers, Velaux, Lançon de Provence et Berre-l'Etang.	1816	22 septembre 1831	1948	Société des raffineries de sucre de Saint-Louis	~ 4000 à 8000 T de lignite	27 août 1960
Coudoux	Ventabren et Coudoux	1065	1 octobre 1833	1924	la Compagnie minière de La Fare	> 101000 T de matériaux extraits	1 septembre 1934
Vèdes	Auriol	358	1 février 1831	1908	messieurs Romain, Boyer et Compagnie	inconnue mais ~ 39 000 m ³ de vides souterrains	4 décembre 1911
Liquette	Auriol	97	1 octobre 1833	Non exploitée	"	Non exploitée	"
Bassan	Roquevaire	436	1 octobre 1833	1908	"	inconnue mais ~ 4 000 m ³ de vides souterrains	"

Tableau 3 : Caractéristiques des concessions lignitifères de Vèdes - La Fare

Les premiers travaux remontent très vraisemblablement au début du XIX^{ème} siècle, avant les dates des premières institutions de concessions. Il s'agissait de grattages aux affleurements de lignite (descenderies creusées sur les affleurements et chambres et piliers peu profondes). Les travaux ont continué jusqu'au XX^{ème} siècle de manière discontinue. La faible expansion des gisements, leur mauvaise qualité, les nombreuses venues d'eau et la concurrence du charbon venant d'autres régions ou de l'étranger condamnent toutes les exploitations à fermer.

Le lignite était généralement de qualité médiocre « pyriteux » et/ou « cendreux ». L'extraction du lignite était destinée au marché local (chauffage et industries).

2.8 CONTEXTES GENERAUX D'ENVIRONNEMENT, DE GAZ ET DE FEUX DE MINE

Les informations qualitatives et quantitatives relatives aux problèmes d'impact sur l'environnement, aux émanations de gaz et aux feux des travaux miniers n'ont pas pu être généralisées en un seul paragraphe à l'échelle du bassin de Vèdes - La Fare », mais ont été synthétisées par groupe de concessions (paragraphe 3.13 et 4.14 de la partie B).

Notons que la nature du matériau exploité (lignite) ne s'accompagne pas, a priori, d'impacts majeurs sur l'environnement. Le principal impact potentiel pourrait être dû à une minéralisation élevée de l'eau issue des travaux, avec comme traceur typique, les sulfates. On notera que les eaux peuvent également être chargées en fer et en manganèse, mais elles présentent rarement des anomalies significatives en métaux. Un contrôle de la conductivité permet d'appréhender rapidement l'ampleur des effets sur les eaux superficielles. Ces contrôles ont été effectués in situ dans le milieu environnant.

Par ailleurs, les captages A.E.P. concernés par les travaux, ont fait l'objet d'une enquête de GEODERIS. Les autorités compétentes n'ont cependant pas transmis à temps les périmètres de protection correspondants et les points de captage qui ne sont pas positionnés sur les cartes informatives en annexe.

3 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

3.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les trois concessions mitoyennes de Vèdes, Bassan et Liquette se situent à environ 2 km au sud du centre du village d'Auriol sur la rive gauche de l'Huveaune. Les concessions de Vèdes et Liquette sont entièrement incluses sur le territoire de la commune d'Auriol, celle de Bassan est située sur les communes d'Auriol et Roquevaire.

Le relief des terrains concédés est relativement accidenté, il se compose essentiellement de collines recouvertes de vergers, de vignobles et de maquis (Figure 7).

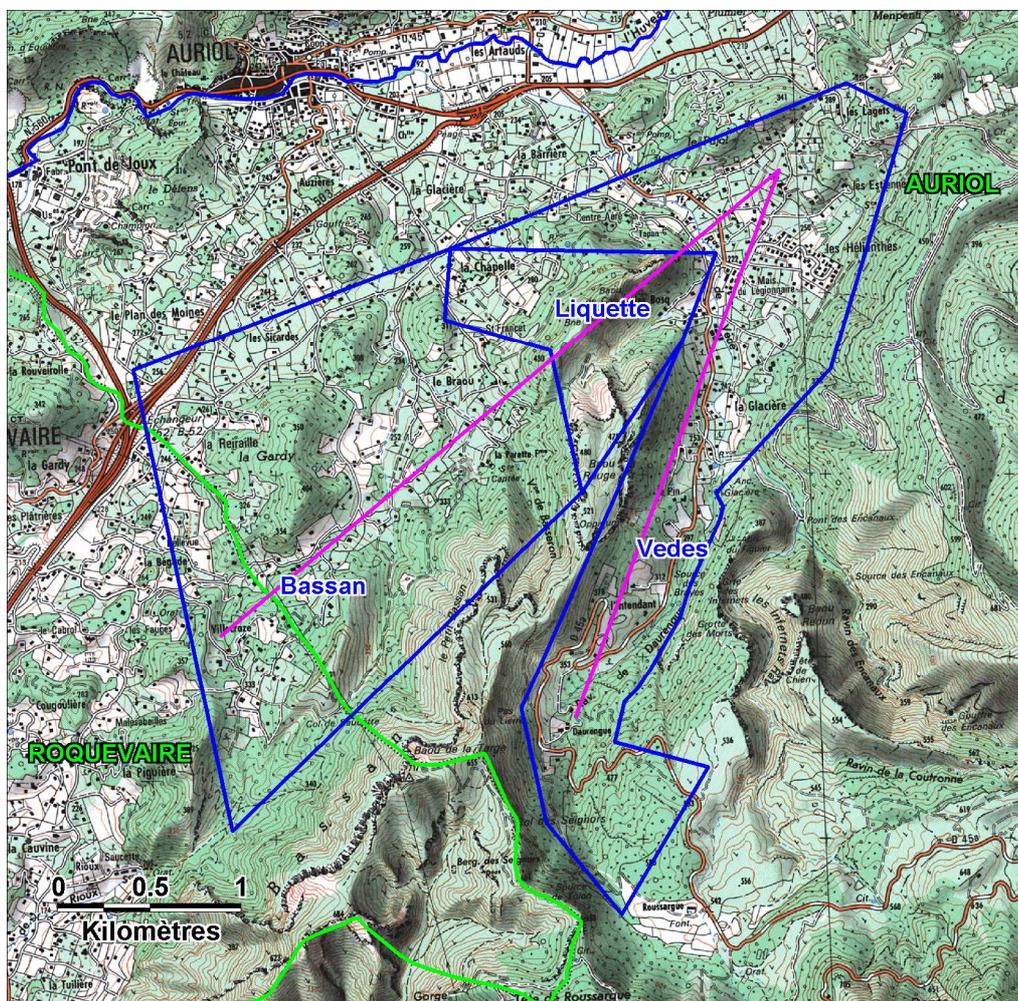


Figure 7 : Localisation et topographie du lambeau de lignite en « V » (en rose) des concessions de Vèdes, Liquette et Bassan (en bleu)

3.2 HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION SOUTERRAINE

3.2.1 CONCESSION DE VEDES

La date précise du début des travaux n'est pas exactement connue, mais dès 1833, année d'institution de la concession (Tableau 3 page 30), les quelques lambeaux de couches trouvés à flanc de coteau près du ruisseau de Vèdes avaient déjà été épuisés (probablement en couche Quatre Pans). De 1833 à 1842, aucune exploitation minière n'a été réalisée.

En 1842, 2 ou 3 lambeaux peu étendus et proches des affleurements ont fait l'objet d'une exploitation.

En 1844, 1846 et 1857, des tentatives de puits et de descenderies aux affleurements furent conduites. Elles se soldèrent par des échecs dus à des venues d'eau trop importantes par rapport aux moyens de pompage disponibles.

De 1858 à 1859, un TB fut réalisé au pied du coteau de « Doringue »¹ (notée VG sur la carte informative en annexe) qui rencontra Grande Mine à 100 m du jour dans laquelle 70 m furent tracés en couche. Ces travaux furent une nouvelle fois arrêtés par des venues d'eaux. Dans ce même, secteur deux ans plus tard suite à la réalisation d'une galerie d'écoulement, 4 chantiers de « dépilages » purent fonctionner jusqu'en 1873.

En 1873, une zone d'anciens travaux au quartier des Lagets fut ré-ouverte et un chantier au charbon y fut installé.

De 1874 à 1879, des travaux de recherches et de reprises de piliers ou de stots sont menés sans réelle envergure.

De 1881 à 1883, restent 3 chantiers importants en activité, très probablement au quartier des Estiennes.

En 1883, la Grande mine fut reconnue par une descenderie (dite de Liquette notée VG sur la carte informative en annexe) sur 20 m de longueur. Notons que certains documents font une confusion entre la descenderie de Liquette, qui se trouve sur la concession de Vèdes en rive gauche du Vède à la cote 217,7 m NGF [19], et non sur la concession de Liquette qui est restée inexploitée tout au long de son histoire.

Au début de 1884, la situation est précaire ; les travaux souterrains ne sont plus entretenus, ils s'effondrent en partie. De 1885 à 1901, aucune exploitation minière n'a été réalisée.

En 1901, à la suite de la procédure de déchéance engagée par l'Etat, les titulaires entreprennent des nouveaux travaux de recherche (dans les trois concessions de Vèdes, Liquette et Bassan simultanément). A cette occasion, des travaux furent notamment entrepris dans le secteur de la descenderie de la Liquette dans la couche Quatre Pans avec une galerie en couche de 300 m de longueur vers l'ouest [19].

¹ Autres dénominations retrouvées : D'auringue, Dauringue, Daurenque et Daurengue.

En 1902 et 1903, le puits de Vèdes fut foncé (photos 5 et 6 en annexe), noté VP6 sur la carte informative (120 m de profondeur) puis 110 m de TB et 80 m de galerie dans la couche Grande-Mine furent tracés. Ils révélèrent une couche « exploitable ». Mais des venues d'eau très fortes contraignirent à l'abandon des travaux et la base du puits fut noyée en août 1903. Une autre tentative fut menée, en 1905, au quartier de Daurenque (notée VG1 sur la carte informative en annexe) mais un incendie survenu en 1906 conduisit à l'abandon de ce secteur.

En 1908, suite à une ultime tentative de reconnaissance du gisement au quartier Daurenque (20 m de TB et 40 m de galerie en couche), les titulaires arrêtaient tous les travaux et prirent la décision de renoncer à la concession.

3.2.2 CONCESSION DE LIQUETTE

Les premières informations sur les travaux de cette exploitation datent de 1833 (année d'institution, Tableau 3 page 30). Entre 1833 et 1861, les documents retrouvés mentionnent que cette concession est restée inexploitée et que le gisement se révèle « inexploitable ». Puis les documents d'archives ne mentionnent plus cette concession jusqu'en 1883, date à laquelle est foncée la descenderie de Liquette (voir paragraphe précédent). Depuis cette date, il n'est de nouveau plus fait mention de la concession de Liquette dans les documents.

De toute évidence cette concession n'a jamais été exploitée.

3.2.3 CONCESSION DE BASSAN

Dès 1833, année d'institution de la concession (Tableau 3 page 30), de vieux travaux avaient déjà été réalisés sur la concession. De 1833 à 1873, après l'abandon de tous les travaux miniers, aucune exploitation minière n'a été réalisée.

En 1874, des travaux de recherche ont probablement été menés. Ils ont conduit l'Ingénieur des Mines de l'époque à déclarer « *ce paquet lignitifère exploré bien que réellement intéressant au niveau géologique toute tentative d'exploitation serait dénuée de succès* ».

Plus aucune mention de cette concession n'est faite jusqu'en 1906, date à laquelle des travaux furent entrepris :

- des travaux de recherche au lieu-dit de Villecroze : un puits de 12 m de profondeur et une descenderie. Ces travaux étaient abandonnés à fin de 1906 (photo 9 en annexe) ;
- des travaux de recherche, puis d'exploitation, près de la Ferme Gastaud au lieu-dit du Braou. Un lambeau presque vertical pu y être exploité à partir d'une descenderie débouchant à la cote 264 m NGF près du ruisseau de Basseron (notée BG1 sur la carte informative en annexe) et pentée à 45 %. Trois étages (224, 234 et 259) y ont été exploités jusqu'en 1908, date à laquelle les travaux miniers ont été arrêtés.

3.2.4 LOCALISATIONS GEOGRAPHIQUES DES ZONES DE TRAVAUX

Malgré une analyse scrupuleuse des documents d'archives retrouvés (plans et rapports), il a été très difficile de retrouver les dénominations précises de tous les quartiers exploités et encore plus compliqué de définir le nom de chaque zone de travaux notée sur les plans.

Concession de Vèdes :

Ont été mentionnés les quartiers suivants :

- quartier des Estiennes ;
- quartier de Daurenque (voir note n°1 en bas de la page 32) ;
- quartier du Puits de Vèdes ;
- quartier de l'Intendant (photo 7 en annexe) ;
- quartier de la descenderie de Liquette ;
- quartier des Lagets.

Cette liste n'est sans doute pas exhaustive. En effet, de nombreuses zones ont été exploitées avant l'institution de la concession et ne portaient pas de nom. De plus, des travaux sont mentionnés dans les textes sans localisation ni dénomination. Les 5 noms de secteurs précédents ont été reportés sur la carte informative en annexe sur 5 zones géographiques où des travaux miniers avaient été identifiés. La corrélation entre le nom et la zone n'est pas certaine, elle a été établie sur la base de recoupements avec les noms de lieux-dits et/ou l'identification de repères (maison, routes, ruisseaux ...). Compte tenu de ces renseignements, il a été jugé nécessaire de cartographier en zones de travaux miniers supposés tout le secteur situé entre la zone d'affleurement de la couche Grande Mine et 50 m de profondeur².

Notons, enfin, que la corrélation entre « plans et lieux » la moins forte concerne les travaux du quartier de l'Intendant (photo 7 en annexe). Ce plan [31] (Figure 8) est intitulé « Concession de Vèdes - Plan des Travaux de Dauringues ». Toutefois, il n'y a aucune possibilité de rattacher ces travaux à la zone définie ci-dessus comme quartier de Daurenque (desservie par la descenderie homonyme, photo 3 en annexe). En revanche, la localisation, sur ce plan, de la route d'Auriol au Plan d'Aups ainsi que l'orientation du document ont permis de positionner ces travaux, plus au sud, dans le ravin de Daurenque, à proximité du lieu-dit de l'Intendant (secteur où les textes archivés ont mentionné à plusieurs reprises la réalisation de travaux).

Concession de la Liquette :

Aucune zone de travaux miniers n'a été recensée, malgré la toponymie de la descenderie de la Liquette cette dernière se situe sur la concession de Vèdes et non sur la concession de la Liquette (voir paragraphe précédent). De plus, la supposition de trouver des vieux travaux aux affleurements de la couche sur cette concession est moins forte que sur celle de Vèdes (il n'est en effet jamais fait mention de travaux antérieurs à l'institution de la concession comme sur Vèdes). Ainsi, aucune zone de travaux supposés n'a été tracée sur la concession de la Liquette.

² Valeur sécuritaire définie en fonction des profondeurs maximales atteintes par les vieux travaux miniers sur cette concession et des caractéristiques du site minier.

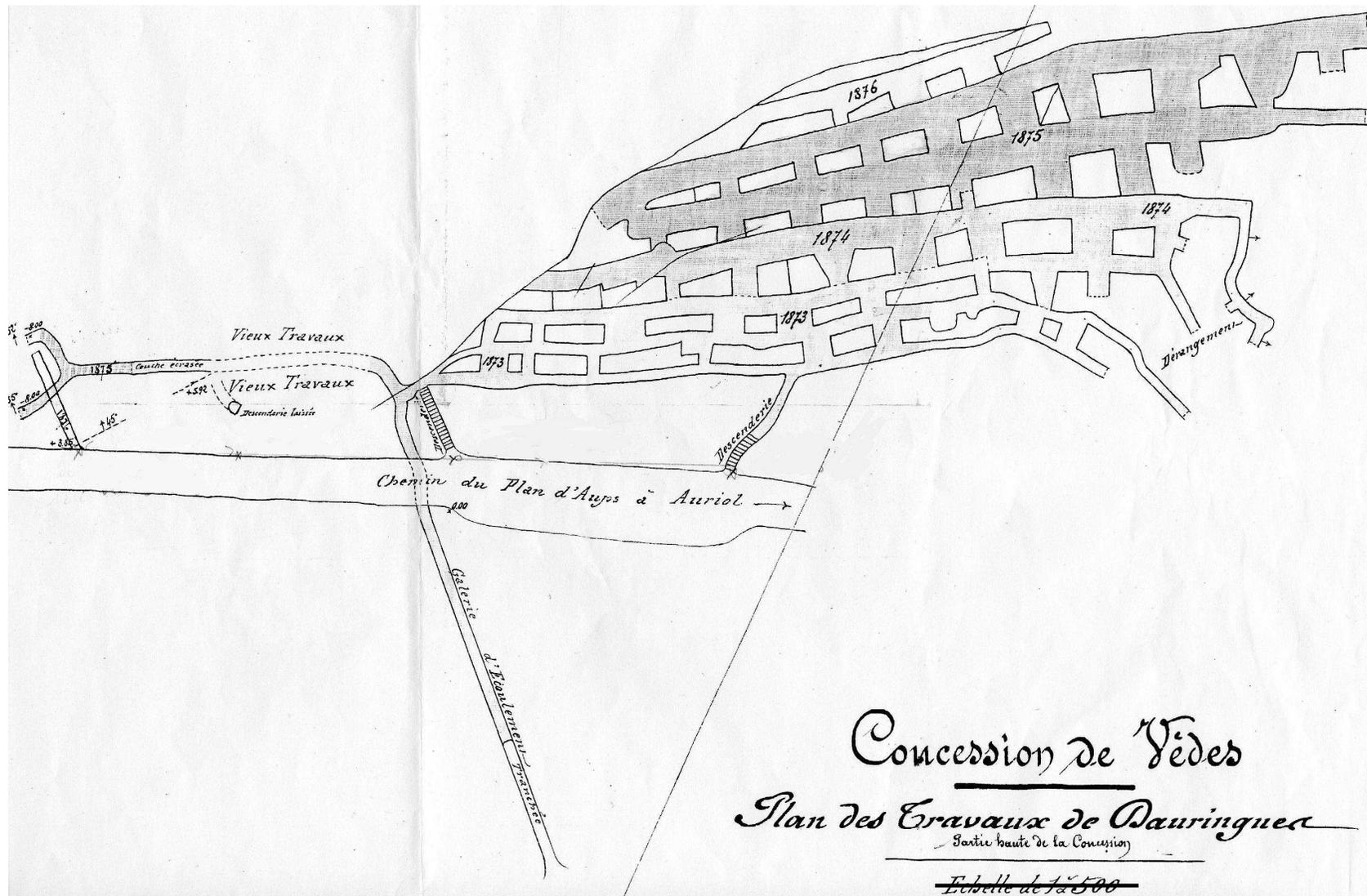


Figure 8 : Plans de travaux sur la concession de Vèdes : quartier de l'Intendant [31]

Concession de Bassan :

Deux quartiers ont été exploités, celui de Villecroze et celui de Braou (photo 8 en annexe), ils ont pu être localisés sans problème particulier. Tout comme les travaux de la concession de Vèdes, il est probable que les affleurements aient fait l'objet de travaux anciens, c'est pourquoi une zone de travaux supposés a été définie entre les affleurements et 50 m de profondeur (voir note de pas de page précédente).

3.3 GEOLOGIE ET TECTONIQUE LOCALES

Les trois concessions de Vèdes, Liquette et Bassan portent sur un lambeau isolé, très tourmenté et irrégulier de terrain à lignite. Ce lambeau est situé en limite sud-est du bassin lignitifère de Provence auquel il se rattache géologiquement. Le lambeau de Vèdes ayant été séparé de l'ensemble du bassin de Fuveau par le soulèvement de la chaîne des Monts de l'Olympe et celui de la chaîne de la Sainte-Beaume. Ainsi, en quelques points de ce lambeau se retrouvent les quatre couches caractéristiques du bassin de Provence : Mine du Gros Rocher, Mine des Quatre Pans, Mauvaise Mine et Grande Mine. La couche principalement exploitée sur les concessions de Vèdes, Liquette et Bassan correspond à Grande mine (des petits secteurs auraient aussi été exploités dans Quatre Pans).

A première vue, ce lambeau présente, en plan, une disposition en « V » dont l'axe est nord-est / sud-ouest et dont la pointe est dirigée vers le nord-est (Figure 7). Sur les deux bords du « V » on trouve des bandes de terrains à lignite du Fuvélien [17] :

- sur le bord ouest du « V » (travaux de la concession Bassan), ces terrains lignitifères reposent sur le Muschelkalk (inversion). La pente des couches peut atteindre 50° en plongeant vers l'est ;
- sur le bord est du « V » (travaux de la concession de Vèdes), au-delà d'une falaise jurassique (bajocienne d'après la carte géologique), on retrouve les terrains à lignite du Fuvélien qui reposent, ici, sur le calcaire à hippurites lui-même situé sur les terrains jurassiques de la Montagne de Lare. La pente des couches varie de 20° à plus de 50° en plongeant vers l'ouest.

Les terrains lignitifères existent aussi à la pointe nord du « V » mais ils y sont redressés presque à la verticale et situés plus profondément.

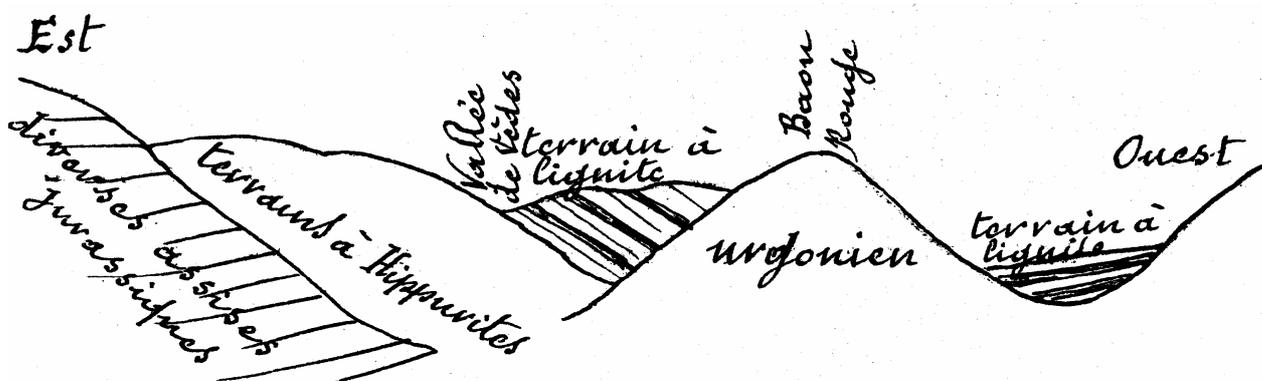


Figure 9 : Coupe géologique « d'époque » du lambeau de lignite exploité sur les concessions de Vèdes, Liquette et Bassan (M. Villot 1874 [17])

Ce gisement correspond donc à une cuvette fuvélienne pincée entre le Trias de Roquevaire et le Jurassique de la montagne de Lare sur laquelle a été charriée (voir principe en Figure 5 à la page 25) la falaise bajocienne venant du sud. Une partie des dépôts fuvéliens a été poussée en avant (zone de la pointe du « V ») et une autre partie a été déplacée ou a glissé de part et d'autre du « V », formant plusieurs petites « cuvettes exploitées ou exploitables ».

Généralement, là où la Grande mine a été exploitée, elle était comme hachée de failles parallèles entre elles produisant une série de petits rejets et d'étranglements. Notons que ces accidents sont plus denses dans la zone de la pointe du « V » que dans celle des bords.

3.4 CARACTERISTIQUES LOCALES DES COUCHES LIGNITIFERES ET TERRAINS DU RECOUVREMENT

Sur les concessions de Vèdes, Bassan et Liquette, le lignite a été principalement exploité depuis les affleurements, sur les bords du gisement en « V », de part et d'autre de la chaîne de Bassan et du Braou Rouge et, plus localement, en profondeur à la pointe du « V » :

- dans le premier cas, les terrains de recouvrement sont constitués par les bancs calcaires gris-bleus du Fuvélien identifiés dans la stratigraphie des exploitations des HBCM (voir paragraphe 2.2 partie B). Ces calcaires présentent ici la particularité d'être plus fracturés et moins compacts que ceux du bassin de Provence en raison des nombreux mouvements géologiques à l'origine de la formation du lambeau de Vèdes. Il est donc probable que ces calcaires présentent des propriétés géomécaniques en grand moins bonnes que celles connues ailleurs plus au centre du bassin de Provence (Tableau 1 et Tableau 2 à la page 27). Dans ces secteurs, au centre des vallées, les terrains de lignite peuvent être recouverts par un horizon « alluvial » de quelques mètres d'épaisseur et peu cohérent formé de marnes et de graviers compactés ;
- dans le second cas, les terrains de lignite ont été poussés et charriés par la « falaise bajocienne », ces terrains se sont alors redressés et ont été broyés en surface ; les couches exploitables ont donc été trouvées plus profondément (environ 100 m) en partie sous des calcaires et marnes jurassiques.

3.4.1 PUISSANCE EXPLOITEE

La puissance exploitée (couche Grande mine) varie de 1,25 m (dont 0,65 m de charbon et 0,6 m d'argile) à localement presque 3 m (dont 2,2 m de charbon et 0,8 m d'argile). Notons que l'épaisseur de l'horizon de charbon pouvait varier très rapidement à l'avancement des galeries de 2 m à un filet de quelques centimètres d'épaisseur.

Très localement (quartier de Daurenque et quartier des Estiennes), l'exploitation a pu être menée sur deux niveaux superposés : Grande Mine et Quatre Pans.

3.4.2 PENDAGE DES COUCHES EXPLOITEES

Le pendage de la couche principalement exploitée (Grande Mine) est aussi variable. Les valeurs estimées depuis les cotes lues sur les différents plans sont synthétisées dans le tableau après.

Concession	Quartier	Ordre de grandeur du pendage des couches
Vèdes	Quartier des Estiennes	13° à « très redressé »
Vèdes	Quartier du Puits de Vèdes	53°
Vèdes	Quartier de Daurenque	20°
Vèdes	Quartier de l'Intendant	45-50°
Bassan	Quartier de Braou	70°

Tableau 4 : Ordre de grandeurs du pendage des couches exploitées (concessions de Liquette, Bassan et Vèdes)

3.4.3 PROPRIETES DU CHARBON EXPLOITE

A la différence du charbon exploité par les HBCM sur le reste du bassin de Provence, le charbon exploité sur ces trois concessions était généralement de qualité médiocre et il était utilisé pour la consommation locale. Tout comme les calcaires du Fuvélien dans ce secteur, le charbon de Vèdes présente probablement des propriétés géomécaniques moins bonnes que celles connues ailleurs plus au centre du bassin de Provence (Tableau 1 et Tableau 2 à la page 27).

3.4.4 PROFONDEURS DES COUCHES EXPLOITEES

La profondeur des travaux miniers est fonction de la topographie des quartiers exploités et des configurations de travaux miniers. Les valeurs estimées depuis les cotes des travaux lues sur les différents plans et les lignes iso de l'IGN sont synthétisées dans le tableau suivant.

Quartiers	Nombre de couches exploitées	Cotes de travaux (m NGF)		Cotes de surface (m NGF)		Profondeurs des travaux (m)	
		min	max	min	max	min	max
Quartier des Estiennes	Généralement 1 seule couche et localement sur deux couches superposées	220	265	235	278	3 (panneaux exploités)	42 (panneaux exploités)
Quartier du Puits de Vèdes	1 couche	118	140	218	242	80 (galeries isolées)	110 (galeries isolées)
Quartier de Daurenque	Généralement 1 seule couche et localement sur 2 couches superposées	221	275	228	300	0 (galeries isolées) 5 (panneaux exploités)	70 m (galeries isolées et panneaux exploités)
Quartier des Lagets	1 couche	185	226	228	240	14 (galeries isolées)	43 (galeries isolées)
Quartier de la descenderie de Liquette	1 couche	249	217	222	270	5 (galeries isolées)	40 (galeries isolées)
Quartier de l'Intendant	1 couche	347	300 (estimé avec 50° de pente)	341	360	0 (galeries isolées) 6 (panneaux exploités)	60 m (galeries isolées et panneaux exploités)
Quartier de Braou	1 couche	259	217	263	287	5 (galeries isolées) 35 m (panneaux exploités)	57 m (panneaux exploités) et 70 m (galeries isolées)
Quartier de Villecroze	1 couche	inconnue	inconnue	289	305	0 (galeries isolées)	30 (galeries isolées)

Tableau 5 : Ordre de grandeurs des profondeurs des travaux (concessions de Liquette, Bassan et Vèdes)

3.5 HYDROLOGIE LOCALE

L'hydrologie de cette zone est presque uniquement caractérisée par le ruisseau de Vède. La résurgence des Encanaux (encanaux = encaissé), rivière souterraine issue du plan d'Aups, réapparaît au fond du vallon du même nom à la faveur d'une faille. Elle coule presque toute l'année et donne naissance au Vède. Ce ruisseau serpente entre 300 m NGF, au sud au niveau de la source des Brayes, à un peu moins de 220 m NGF, au niveau de la station de pompage au nord près du village d'Auriol.

Aucune donnée précise de débit sur ce ruisseau n'a été retrouvée, il coule néanmoins « presque toute l'année », se limitant à un ru en période sèche et pouvant grossir lors de forts épisodes pluvieux.

Compte tenu du caractère fortement karstique du plan d'Aups d'autres résurgences sont possibles mais aucune n'a pu être correctement identifiée.

Notons que du côté du lieu-dit Le Braou, deux ruisseaux (dont celui de Basseron) sont notés comme temporaires sur la carte IGN. Lors de nos visites sur sites, ils étaient complètement à sec.

3.6 HYDROGEOLOGIE LOCALE ET MINIERE

Concernant l'hydrogéologie locale, notons que :

- le plateau du Plan d'Aups montre un réseau karstique très développé avec de nombreuses connexions par des galeries karstiques creusées dans les calcaires du Crétacé supérieur et du Jurassique supérieur. Par exemple, un important embu (en patois local signifie entonnoir) dans lequel s'infiltrent les eaux pluviales alimentant la source de l'Huveaune ;
- sur le plan d'Aups, les différents aquifères connus sont bien compartimentés par la tectonique mais ils peuvent entrer en contact via ces galeries karstiques lors des périodes de hautes eaux ;
- aucune donnée précise sur l'aquifère potentiel concernant les travaux miniers de Vèdes, Liquette et Bassan n'a été retrouvée ;
- à l'arrêt des travaux miniers « *l'ensemble de la zone exploitée à Vèdes Nord était noyé entièrement* » [19] ;
- les travaux miniers étaient constamment gênés par des venues d'eau. Elles ont d'ailleurs conduit de nombreuses fois à arrêter l'exploitation ;
- l'existence de battements de nappes fréquents et de niveaux d'eau variables (selon les habitants) :
 - il y a encore quelques années, l'eau débordait par la cheminée Pascau (notée VP1 sur la carte informative en annexe), ce qui supposait l'envoyage complet des travaux plus au sud (car situés plus profondément). Lors de l'inspection de cet ouvrage le niveau d'eau était à environ 5 m de la surface ;
 - au début du siècle, l'eau coulait au puits de Vèdes (photos 5 et 6 en annexe) alors que lors de notre visite le niveau était à environ 25 m en dessous de la margelle du puits. Toutefois, ces visites ont eu lieu pendant une période de forte sécheresse (été 2005).

Le niveau de la nappe est certainement stabilisé, compte tenu de l'ancienneté des exploitations. Il peut être estimé de la façon suivante :

- au quartier du Puits de Vèdes le niveau d'eau doit fluctuer autour de la cote 196 m NGF (cote de la tête du puits moins 30 m) ; la totalité des travaux de ce quartier est donc probablement noyée (travaux situés entre les cotes 140 et 118 m NGF) ;
- au quartier de la descenderie de Liquette, il est probable que le niveau d'eau soit similaire à celui dans le quartier du puits de Vèdes. Les travaux de ce secteur se situant entre les côtes 117 et 125 m NGF, ils sont probablement envoyés ;

- au quartier de Daurenque, les travaux miniers se situent entre les cotes 221 et 275 m NGF. Le niveau d'eau doit fluctuer entre les cotes 220 et 247 m NGF (de l'eau s'écoulant régulièrement par la descenderie Daurenque et par la tête de cheminée Pascau (respectivement aux cotes 230 et 247 m NGF). Une partie des travaux de secteur est donc probablement non ennoyée ;
- au quartier des Estiennes (travaux miniers entre les cotes 220 et 265 m NGF), peu d'informations sur les niveaux d'eau a été retrouvée. Il est possible qu'une partie des travaux soit ennoyée, mais une part non négligeable de ces vides est probablement hors d'eau (le ruisseau de Vède coulant à proximité à entre les cotes 218 et 226 m NGF) ;
- aux quartiers de l'Intendant, des Lagets, de Villecroze et de Braou, aucune information sur les niveaux d'eau n'a été retrouvée. Dans une approche sécuritaire, l'ensemble des vides de ces secteurs miniers peu profonds bien souvent situés à flanc de coteau « escarpés », sera considéré non ennoyé.

3.7 METHODE D'EXPLOITATION

La majorité des travaux a été menée à partir de couches affleurantes.

Durant le XVIII^{ème} siècle et jusqu'au début du XIX^{ème} siècle, les travaux miniers auraient été encore conduits³, de façon plutôt anarchique, au-delà des affleurements à partir de descenderies en couche (« fendues ») ou de travers-bancs au rocher de 2 m de large environ, inclinés à 45° et qui allaient chercher la couche plus en profondeur (voir Figure 10). Les galeries au charbon s'enfonçaient jusqu'aux limites du tréfonds en rayonnant. Les profondeurs atteintes au XVIII^{ème} siècle ne dépassèrent guère 40 m pour l'ensemble des couches exploitées.

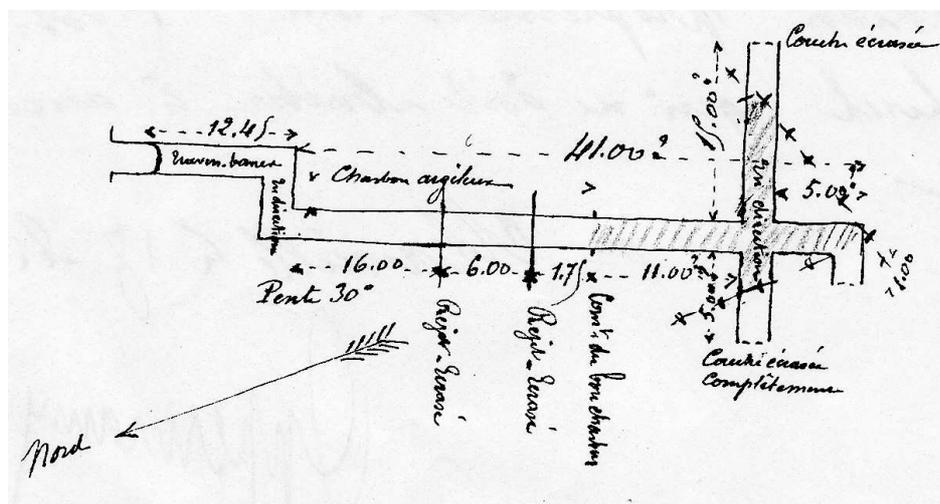


Figure 10 : Descenderie (concession de Vèdes)

Jusqu'avant 1850, l'exploitation du gisement était principalement réalisée dans la zone des affleurements, par la seule méthode des chambres et piliers abandonnés.

³ Par analogie aux exploitations du bassin de Provence, d'après les informations retrouvées sur l'exploitation des Mines de Fuveau et de Gréasque [6].

Notons que les dimensions des piliers représentés sur les anciens plans d'archives sont à considérer avec prudence, certains piliers abandonnés étant parfois repris et amincis avant l'abandon du chantier (par exemple les gros piliers de 10×10 m ou 8×8 m passaient alors à des piliers de 5×5 m). Le taux de défruitement caractérise, en plateure, le rapport de la surface déhouillée à la surface totale du panneau. Les valeurs de taux de défruitement calculées pour les exploitations concernées ici (estimation surfacique après digitalisation des piliers résiduels) :

- varient entre 62 % et 68 % dans le quartier des Estiennes ;
- varient entre 45 %, 47 % et 49 % dans le quartier de Daurenque.

La largeur des chambres exploitées varie de 2 à 5 m (lecture sur plan) tandis que les galeries d'infrastructures gardent des largeurs similaires aux autres quartiers (2 à 2,8 m).

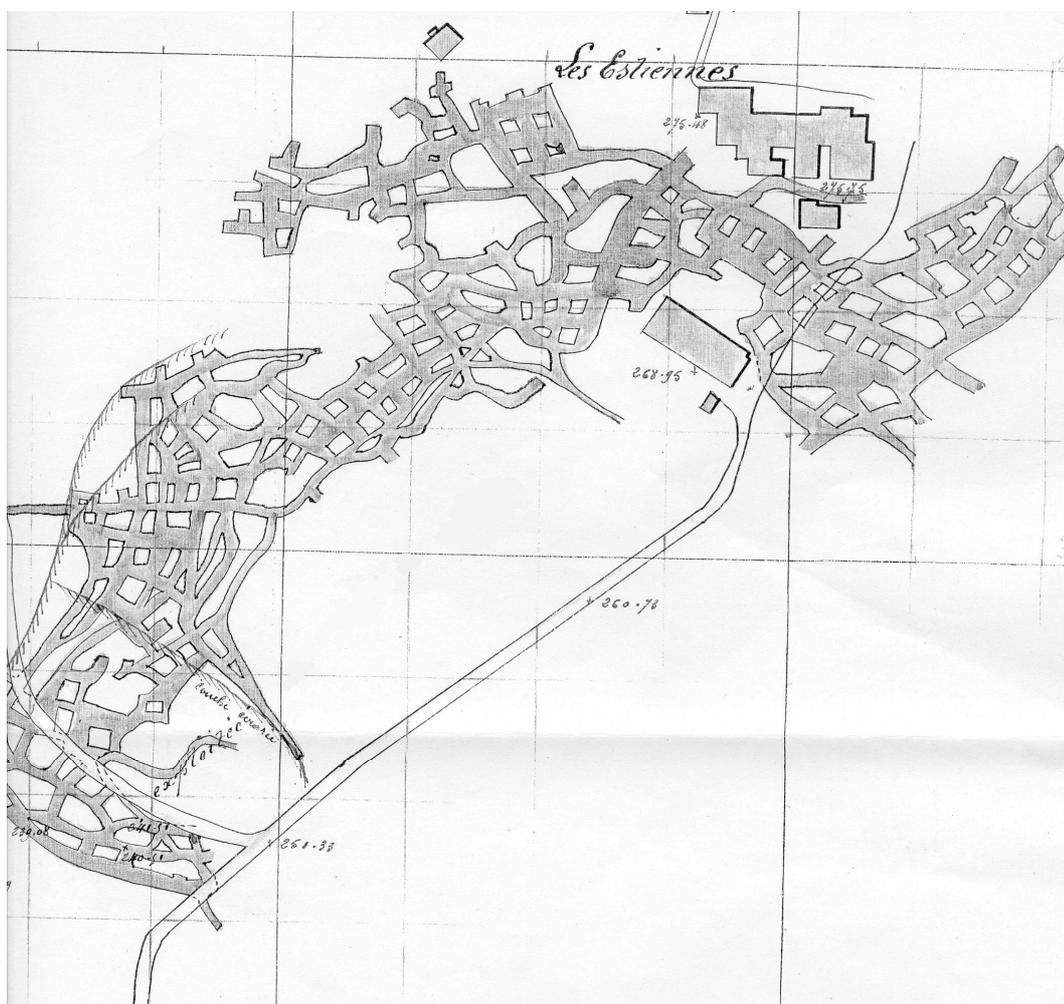


Figure 13 : Chambres et piliers abandonnés (quartier des Estiennes)

- par reprise de piliers dans certains des secteurs (au quartier de Braou et localement aux Estiennes, voir Figure 14) . L'« exploitation se fait par des remontés en demi-pente séparées par des massifs de 6 à 8 m » [18]. Il persiste donc probablement dans ces secteurs des vides localement importants, dénommés par la suite chambre au pendage.

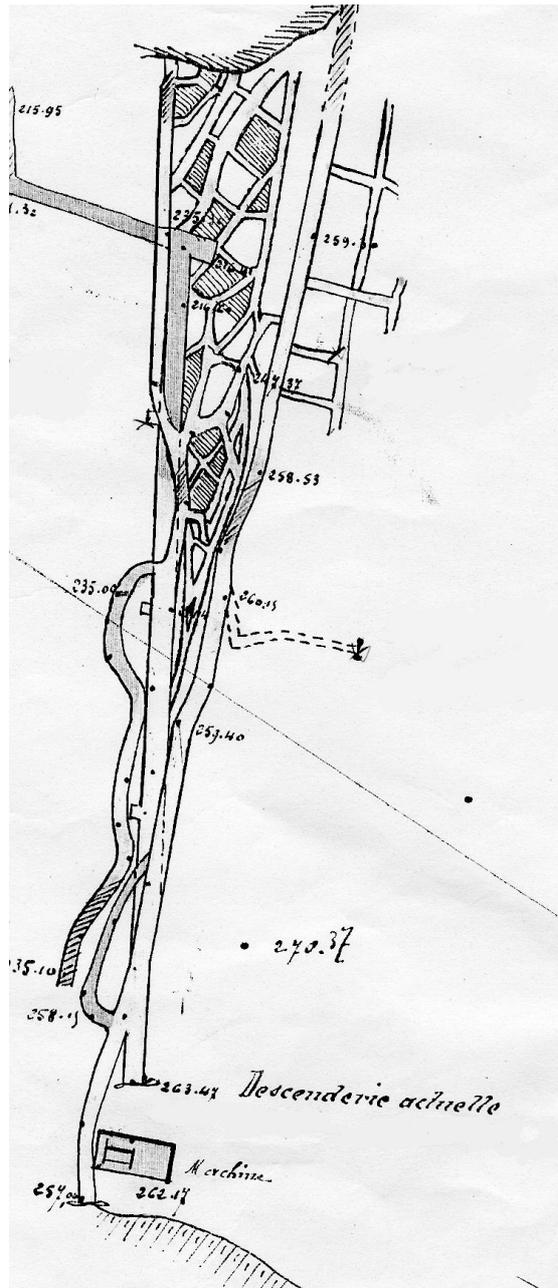


Figure 14 : Exemple de reprise de piliers (secteur du Braou)

Même s'il semble légitime de considérer qu'une fraction non négligeable de ces anciens travaux est aujourd'hui éboulée (ancienneté des exploitations), il demeure très probable que des vides résiduels puissent persister.

Les archives ne mentionnent jamais la réalisation d'opération de boisage même pour les galeries d'infrastructures. Localement des opérations de maçonnerie de certains accès ont été mentionnés (puits de Vèdes et descenderie de Daurenque, photos 5, 6 et 3 en annexe).

3.8 PRODUCTION

Aucun bilan de production, ni détail de redevances n'a été retrouvé pour les concessions de Vèdes, Liquette et Bassan.

Seules des informations ponctuelles ont été notées : « en 1906, la production journalière au quartier des Estiennes était de 10 à 15 T de charbon », par exemple.

Il est possible d'estimer le volume de vides à partir des plans retrouvés qui permet de donner un ordre d'idée de la production. Ces estimations, basées sur une ouverture des travaux miniers moyenne de 2 à 2,5 m, sont synthétisées dans le tableau ci-après ; le volume total de vides est estimé à environ 43 000 m³.

Quartiers exploités	Type de travaux	Taux de défrètement (%)	Largeur galerie (m)	Volumes de vides estimés (m ³)
Quartier des Estiennes	Galeries isolées (237 m linéaire) et chambres et piliers abandonnés (12262 m ²)	65	2,8	21600
Quartier du Puits de Vèdes	Galeries isolées (350 m linéaire)	s.o	2,8	2450
Quartier de Daurenque	Galeries isolées (570 m linéaire) et chambres et piliers abandonnés (3905 m ²)	47	2,8	8600
Quartier des Lagets	Galeries isolées (315 m linéaire)	s.o	2,8	2205
Quartier de la descenderie de Liquette	Galeries isolées (420 m linéaire)	s.o	2,8	2940
Quartier de l'Intendant	Galeries isolées (75 m linéaire) et zones de reprise de piliers	s.o	2,8	525
Quartier de Braou	Galeries isolées (444 m linéaire) et zones de reprise de piliers (35x42 m) ⁴	Environ 50	2,8	3956
Quartier de Villecroze	Galeries isolées (≈ 20 m linéaire)	s.o	2,8	140
Total				env 43000

Tableau 6 : Estimation des volumes de vides souterrains sur les concessions de Liquette, Bassan et Vèdes (2,5 m d'ouverture)

3.9 OUVRAGES DEBOUCHANT EN SURFACE

Le tableau ci-après présente la liste des ouvrages débouchant en surface, recensés sur les concessions de Liquette, Bassan et Vèdes, ainsi que les informations disponibles concernant ces ouvrages.

La localisation de l'ensemble des ouvrages est présentée sur la carte informative en annexe.

⁴ Estimation réalisée à partir d'une coupe des travaux du Braou

N° identifiant	Nom de l'ouvrage	Coordonnées (Lambert II étendu)		Source	Incertitude (m)	Rôle	Diamètre (m) ou hauteur (m)	Profondeur (m)	Observations et remarques
		X	Y						
BG1	Descenderie « actuelle » de Bassan	868373,4	1822295,2	dGPS	1	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage en partie comblé par des déchets végétaux (voir photo 8 en annexe)
BG2	-	868387,9	1822304,1	archives	5	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG3	Puits Gaspard	868315,2	1822269,7	archive	10	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG4	Ancienne descenderie de Bassan	868265,1	1822169,1	archive	10	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG5	Puits de Mr Gastaud	868243,5	1822177,4	archive	10	recherche	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG6	-	868228,1	1822248,4	archive	10	exploitation et recherche	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG7	Sortie du Puits du Pin	868185,9	1822129,8	archive	10	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG8	Puits du Pin	868174,2	1822116,4	archive	10	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu
BG9	-	868129,5	1822059,5	archive	10	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage non retrouvé de traitement inconnu

Tableau 7 : Inventaire des ouvrages débouchant en surface sur la concession de Bassan

N° identifiant	Nom de l'ouvrage	Coordonnées (Lambert II étendu)		Source	Incertitude (m)	Rôle	Diamètre (m) ou hauteur (m)	Profondeur estimée (m)	Observations et remarques
		X	Y						
VG1	Descenderie de Daurenque	869813,6	1822904,9	dGPS	5	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage remblayé par des déchets végétaux et maçonné sur les 30 premiers mètres, elle passe à moins de 10 m de profondeur sous la D45a (voir photo 3 en annexe)
VG10	Nouveau puits incliné	870045,1	1823602,7	archives	2	recherche	2	inconnue	Ouvrage muré et tracé dans des terrains compétents (voir photo 4 en annexe)
VG11	Ancien trou réouvert	870080,6	1823634,1	archives	10	exploitation	2	inconnue	Ouvrage situé dans un talus
VG12	-	869716,6	1823593,7	archives	5	recherche	1,5	inconnue	Ouvrage éboulé et situé dans un talus avec broussailles
VG13	Descenderie Reissacher	869783,2	1823612,9	scan 25	5	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage éboulé et situé dans un talus avec broussailles
VG14	Travers Bancs Four	869783,4	1823623,8	dGPS	4	recherche	1,5	inconnue	Ouvrage en partie éboulée et murée à la fermeture de la mine (le mur à l'entrée de la galerie paraît fragile)
VG15	Galerie de Liquette	869553,1	1823467,6	dGPS	3	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage fermé par un mur en pierre cimenté, dégradé
VG15	-	869208,2	1821004,2	archive	inconnue	exploitation	inconnu	inconnue	Un effondrement localisé s'est produit à 5 m de l'entrée, dans une partie où la galerie passait à moins de 2 m de prof (l'accès à la galerie est possible par ce désordre)

Tableau 8 : Inventaire des ouvrages débouchant en surface sur la concession de Vèdes (1/3)

N° identifiant	Nom de l'ouvrage	Coordonnées (Lambert II étendu)		Source	Incertitude (m)	Rôle	Diamètre (m) ou hauteur (m)	Profondeur estimée (m)	Observations et remarques
		X	Y						
VG16	-	869503,5	1823458,8	dgps	3	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage remblayé
VG17	-	869182,8	1820964,5	archive	3	écoulement d'eau	inconnu	inconnue	Traitement inconnu
VG18	-	869160,4	1820984,8	archive	20	exploitation	inconnu	inconnue	Traitement inconnu
VG19	-	869144,7	1820972,3	archive	20	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage situé sur propriété privée mais accessible par la forêt, entrée remblayée à quelques mètres de l'entrée (voir photo 7 en annexe)
VG2	-	869720,3	1822568,7	archives	20	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage ouvert
VG3	-	869691,9	1822532,5	archives	20	exploitation	inconnu	inconnue	Accès du terrain refusé par le propriétaire des lieux
VG4	-	869709	1822462	archives	20	exploitation	inconnu	inconnue	Accès du terrain refusé par le propriétaire des lieux
VG5	-	869705,5	1822427,7	archives	20	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage situé dans une propriété privée
VG6	Trou Rane de	870098,6	1823354,8	archives	10	exploitation	inconnu	inconnue	Néant
VG7	-	870105,8	1823417,2	archives	10	exploitation	2	inconnue	Néant
VG8	Nouvelle descenderie	870172,7	1823445,8	archives	10	exploitation	inconnu	inconnue	Néant
VG9	-	870092,4	1823483,4	archives	10	exploitation	inconnu	inconnue	A priori, l'eau se situe à environ 2 m de l'entrée

Tableau 9 : Inventaire des ouvrages débouchant en surface sur la concession de Vèdes (2/3)

N° identifiant	Nom de l'ouvrage	Coordonnées (Lambert II étendu)		Source	Incertitude (m)	Rôle	Diamètre (m) ou hauteur (m)	Profondeur estimée (m)	Observations et remarques
		X	Y						
VP1	Cheminée de Pascau	869735,4	1822698	dGPS	5	aérage	0,5	inconnue	Ouvrage remblayé artisanalement et situé dans propriété privée (voir photos 1 et 2 en annexe)
VP2	-	870076,6	1823296,7	dGPS	10	Exploitation	-	inconnue	A priori ne débouche pas en surface
VP3	Puits interne	870078,7	1823413,9	-	10	Exploitation	3	inconnue	Origine minière incertaine
VP4	-	870076,7	1823487,6	dGPS	2	inconnu	inconnu	inconnue	Ouvrage équipé d'une margelle bétonnée
VP5	Puits projeté	869945	1823465,4	archives	10	aucun	inconnu	inconnue	Puits concerné par un projet de travaux miniers
VP6	Puits de Vèdes	869657,9	1823421,9	dGPS	3	exploitation	inconnu	inconnue	Ouvrage équipé d'une margelle de 1,8 m de haut (voir photos 5 et 6 en annexe)
VP7	cheminée d'aérage 2	869427,2	1823469,9	archives	10	aérage	inconnu	inconnue	Néant
VP8	cheminée d'aérage 1	869319,2	1823510,1	archives	10	aérage	inconnu	inconnue	Ouvrage équipé d'une margelle de 1,8 m + porte

Tableau 10 : Inventaire des ouvrages débouchant en surface sur la concession de Vèdes (3/3)

3.10 TERRILS

Aucun dépôt (stériles ou résidus de traitement) n'a été retrouvé sur le terrain et il n'est fait mention d'aucun ouvrage de ce type dans les documents consultés. Un ancien silo à charbon a été retrouvé à proximité de l'entrée de la galerie de la Liquette.

3.11 DESORDRES CONNUS EN SURFACE

Les archives mentionnent l'existence d'un désordre (non localisé), de type effondrement localisé, constaté le 25 février 1983 au lieu-dit Les Bosqs sur la commune d'Auriol.

Lors des visites du site « scanning », une dépression en surface, probablement consécutive à une cloche de fontis affleurant en surface a été observée. Les dernières visites de sites ont permis de déceler deux nouveaux désordres sur la concession de Bassan.

La localisation et les caractéristiques de l'ensemble de ces désordres sont présentées sur la carte informative en annexe et dans le tableau ci-après.

Quartier d'exploitation	N°d	Type de désordre	Coordonnées (Lambert II étendu)		Dimensions (m)			Observations et remarques
			X	Y	Longueur	Largeur	profondeur	
Concession de Vèdes, quartier des Estiennes	BD1	Fontis (cloche de fontis affleurante)	870100,3	1823453,1	2	2	0,2	Néant
Concession de Bassan, quartier de Villecroze	BD2	Fontis	867147,4	1821120,7	2	2	1	(voir photo 9 en annexe)
	BD3	Fontis	867141,1	1821117	2	2	0,5	Néant
Concession de Vèdes, quartier de la descenderie de Liquette	VD1	Fontis	869517,9	1823439,9	3	3	0,5	Cet évènement avait fait l'objet d'un courrier à la DRIRE [22], décrivant des projets de travaux de remblayage avec 100 m ³ de graviers. D'autres dépressions à proximité de ce désordre avaient été observées.

Tableau 11 : Désordres recensés et/ou observés sur les travaux miniers des concessions de Liquette, Vèdes et Bassan

3.12 GAZ DE MINE ET FEUX SOUTERRAINS

Les archives mentionnent l'existence d'un incendie en 1906 qui a obligé les exploitants à abandonner les travaux miniers [17].

Aucun indice de gaz ou de feux n'a été repéré lors de la visite du site.

3.13 ENVIRONNEMENT

Lors des campagnes de terrain effectuées en novembre 2006, les conditions hydrologiques et hydrogéologiques plutôt « sèches » n'ont pas permis de réaliser de nombreux prélèvements d'eau dans le ruisseau de Vède. Ainsi, trois échantillons ont été collectés sur les concessions de Liquette, Vèdes et Bassan (localisation sur carte informative en annexe) :

- VPr6 en amont de toute les zones exploitées ;
- VPr8 en amont des quartiers des Estiennes, des Lagets, du puits de Vèdes et de la descenderie de Liquette tout en étant en aval de ceux de Daurenque et de l'Intendant ;
- VPr7 en aval de toute zone de travaux.

Les principales caractéristiques des analyses réalisées sur ces échantillons sont synthétisées ci-après.

Les résultats des analyses chimiques révèlent une certaine tendance à un enrichissement des eaux du Vède pour quelques éléments analysés entre l'amont et l'aval des travaux (sulfate, fer, zinc, calcium et manganèse). Seule la concentration en magnésium diminue entre l'amont et l'aval.

Le débit sur ces secteurs a estimé à environ 3 l/s (VPr 6).

Les teneurs obtenues en Plomb (Pb), Cuivre (Cu), Chrome (Cr), Nickel (Ni), Arsenic (As) et Cadmium (Cd) sont inférieures aux seuils de quantification.

Ces valeurs ne traduisent pas d'impacts significatifs des travaux souterrains sur les eaux superficielles, en période d'étiage marqué.

		Désignation d'échantillon			Exigences minimales pour une eau destinée à la consommation humaine ⁵	NQE _p (Eaux de surface intérieures ⁶)
		VPr 6	VPr 7	VPr 8		
Sulfates (SO ₄)	mg/l	8.6	23	74	250	-
Fer (Fe)	mg/l	0.018	0.015	7.9	0,2	-
Mercure (Hg)	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	1	1
Plomb (Pb)	µg/l	<10	<10	<10	-	7,2
Cuivre (Cu)	µg/l	<3	<3	<3	0,002	Bruit de fond géochimique + 1,4
Chrome (Cr)	µg/l	<1	<1	<1	50	Bruit de fond géochimique + 3,4
Nickel (Ni)	µg/l	<2	<2	<2	20	20
Arsenic (As)	µg/l	<10	<10	<10	10	Bruit de fond géochimique + 4,2
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	5	5
Zinc (Zn)	µg/l	<1	1	65	-	(dureté < 24mgCaCO ₃ /L) Bruit de fond géochimique + 3,1 (dureté > 24mgCaCO ₃ /L) Bruit de fond géochimique + 7,8
Calcium (Ca)	mg/l	78	93	210	-	-
Manganèse (Mn)	mg/l	0.002	0.001	0.065	-	-
Magnésium (Mg)	mg/l	22	20	15	-	-

Tableau 12 : Résultats des analyses d'eau menées sur les échantillons prélevés sur les concessions de Liquette, Bassan et Vêdes

⁵ Directive européenne n°98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

⁶ Circulaire actuellement proposée par l'INERIS au Ministère de L'Ecologie et du Développement Durable (Direction De L'eau - Direction de La Prévention des Pollutions et des Risques) en application de la Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (DCE) et de la Circulaire DCE 2005/12 du 28 juillet 2005 relative à la définition du « bon état ».

4 CONCESSIONS DE LA FARE ET DE COUDOUX

4.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

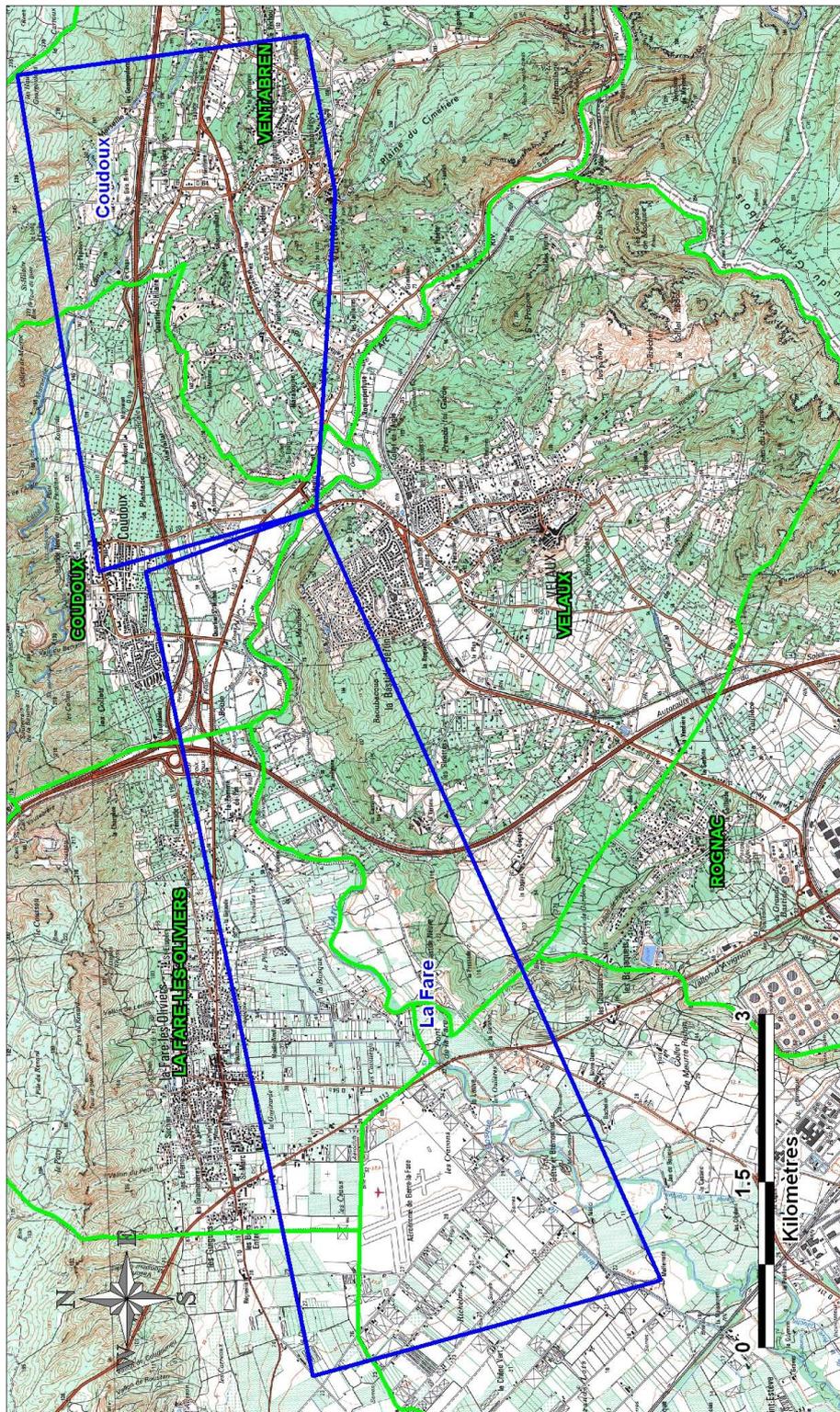


Figure 15 : Localisation et topographie des concessions de La Fare et de Coudoux

Les deux concessions mitoyennes de La Fare et de Coudoux se situent à proximité immédiate au sud des villages de La-Fare-Les-Oliviers et de Coudoux et

en limite nord du village de Velaux, dans la basse vallée de l'Arc. Les périmètres de ces 2 concessions sont entièrement inclus sur les territoires des communes de La-Fare-Les-Oliviers, Ventabren, Velaux, Berre-l'Etang et Coudoux .

Le relief des terrains concédés est peu accidenté, la topographie est en majorité plane (altitude comprise entre 40 m NGF et 150 m NGF), les terrains de surface sont occupés essentiellement par des plaines alluviales parsemées de vergers et de vignobles (Figure 7).

4.2 HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION SOUTERRAINE

4.2.1 CONCESSION DE LA FARE

Les premiers travaux ont eu lieu entre 1831 et 1838, après l'institution de la concession (Tableau 3 page 30) ; ils ont probablement consisté en des grattages aux affleurements au nord du secteur dénommé par la suite quartier des Auberges. Aucune trace de ces travaux n'a été retrouvée sur le site.

La mine est abandonnée en 1838, l'Etat la reprendra après une procédure de déchéance contre les propriétaires en 1902. De 1838 à 1917, la mine est totalement abandonnée, plus aucune activité n'y est mentionnée.

En 1917, après le rachat de la concession par la Compagnie Générale d'Electricité, le puits Saint-Michel n°1 (noté FP2 sur la carte informative en annexe et en photo 11 en annexe) est foncé jusqu'à 39 m de profondeur. L'exploitation commence alors dans les étages situés entre la surface et la base du puits, dans le secteur dit quartier Saint-Michel.

Après avoir fusionné avec la Société nouvelle des raffineries de sucre de Saint-Louis sous le nom de compagnie de Houillère de La Fare, elle change de nom pour devenir la Compagnie minière de La Fare.

En 1923, un second puits, le puits Saint-Michel n°2 (noté FP1 sur la carte informative en annexe), est foncé, à environ 450 m au nord du puits n°1 et jusqu'à la profondeur de 31,25 m.

En 1924 le puits Saint-Michel n°1 est approfondi jusqu'à 124 m et une descenderie dite de Saint-Michel est creusée (notée FG1 sur la carte informative en annexe). Elle relie la surface et la base des deux puits. L'exploitation est alors menée dans les étages compris entre la base des deux puits. La surface de la concession est réduite de 2154 à 1618 hectares en 1927.

En 1933, probablement pour des raisons économiques, les travaux miniers sont arrêtés et la mine est noyée.

En 1940, à la faveur des demandes importantes de charbon consécutives à la Seconde Guerre Mondiale, un nouveau siège d'exploitation est ouvert à l'ouest de la descenderie Saint-Michel, au quartier des Auberges. Un puits et une descenderie principale, dénommés puits des Auberges (photo 10 en annexe) et descenderie des Auberges (respectivement notés FP3 et FG2 sur la carte informative en annexe), seront alors réalisés pour mener à bien cette exploitation. En 1948, les travaux miniers sur ce quartier cessent, marquant ainsi la fin définitive de l'exploitation sur la concession de la Fare.

En 1943, la concession de La Fare a été rachetée par la société des raffineries de Saint-Louis. La renonciation est prononcée le 27 août 1960.

En 1997, un inventaire des orifices miniers présentant un réel danger pour la sécurité publique a été mené sur la concession de La Fare. La DRIRE PACA a confié la maîtrise d'œuvre des travaux de mise en sécurité préconisé par le BRGM à la société MICA Environnement. Ces travaux ont été réalisés en 2000, 2001, 2002 et 2003 (voir paragraphe 0 partie B).

4.2.2 CONCESSION DE COUDOUX

Il est probable que de vieux travaux aient été réalisés, aux affleurements des couches du charbon, dans les années 1830 et antérieures, aucune trace ni information précise de ces travaux n'a été retrouvée. Après l'institution de la concession (Tableau 3 page 30), ces travaux subsurfaciques, au nord du futur quartier Saint-Hilaire, prennent de l'importance, entre 1838 et 1846, sans jamais atteindre le rendement d'une exploitation minière de la même époque.

De 1877 à 1882, l'exploitation s'approfondie et s'intensifie, les descenderies de Saint-Hilaire et de l'Abondance sont creusées, puis la galerie Bertrand pour permettre l'évacuation des eaux. La concession est revendue par trois fois en 1877, 1881 et 1902 (respectivement à M. Faure, M Delettre et M. Carle).

En 1909, le puits René est foncé jusqu'à une profondeur de 27 m.

Pendant cette période les travaux miniers ont porté sur un seul niveau s'étendant sur environ 600 m à l'est du puits et 400 m à l'ouest. De nombreuses venues d'eau perturbent l'exploitation (aquifères importants et canal de Marseille tout proche).

De 1916-1918 à 1924, le puits René est approfondi de 27 à 98 m. C'est la principale période d'exploitation de la mine. La compagnie minière de La Fare fait l'acquisition de la concession le 29 juin 1928.

La concession a fait l'objet d'une renonciation en 1934 (décret du 1 septembre).

Une tentative de reprise de l'exploitation semble avoir été menée entre 1942 et 1948, mais elle est sans doute restée infructueuse (aucune trace précise aux archives).

L'exploitation du lignite s'est vraisemblablement arrêtée en 1924.

En 1997, la même campagne de mise en sécurité d'orifices miniers que celle menée sur la concession voisine de La Fare a été menée sur celle de Coudoux (voir paragraphe précédent). Ces travaux ont été réalisés par MICA Environnement en 2000, 2001, 2002 et 2003 (voir paragraphe 0 partie B).

4.2.3 LOCALISATIONS GEOGRAPHIQUES DES ZONES DE TRAVAUX

Sur les concessions de La Fare et de Coudoux trois zones de travaux distinctes ont été identifiées (représentées sur la carte informative en annexe) :

Concession de La Fare :

- quartier des Auberges ;
- quartier Saint-Michel.

Concession de Coudoux : quartier Saint-Hilaire.

Cette liste est probablement complète. En effet, les documents d'archives n'ont jamais mentionné l'existence d'autres travaux miniers, ni antérieurs ni postérieurs aux dates d'institution des concessions, sur les zones concernées.

4.3 GEOLOGIE LOCALE, TECTONIQUE ET TERRAINS DE RECOUVREMENT

Géologie :

Ce lignite appartient au bassin de Fuveau (formation est liée à une sédimentation fluvio-lacustre du Fuvélien voir paragraphe 2.2 partie B).

Le minerai se présente dans ce secteur :

- en 3 bancs d'épaisseur pluridécimétriques, dans le quartier Saint-Hilaire ;
- en 7 bancs de 10 à 20 cm d'épaisseur, dans les quartiers des Auberges et Saint-Michel.

Malgré cette décomposition en bancs, le lignite a été exploité en une seule couche.

Ces horizons de lignite s'intercalent donc dans des dépôts de la fin du secondaire composés de calcaires, d'argiles, de grès, de sables et de conglomérats. Ces terrains fuvéliens ou valdo-fuvéliens (noté C6 sur la carte ci-après) reposent sur les calcaires à hippurites de l'Urgonien (noté nU en orange marron sur la carte ci-après).

Recouvrement :

Le point 10203X0072/F de la Banque du Sous-Sol (BSS), correspondant au puits Saint-Michel n°⁷, au nord du quartier exploité du même nom. Les différentes couches rencontrées depuis la surface en ce point sont :

- des alluvions (sables et graviers) de 0 à 9 m ;
- des marnes grises et des calcaires gris fossilifères de 1 à 15 m ;
- des marnes noires et bigarrées de 15 à 22 m ;
- des calcaires jaunes de 22 à 23 m ;
- du lignite et des calcaires de 23 à 25 m.

Au point 10203X0071/F, correspondant au puits Saint-Michel n°⁸ (au sud du quartier exploité), on rencontre depuis la surface :

- de 0 à 1 m : des alluvions (sables et graviers) ;
- de 1 à 78 m : des calcaires fossilifères argileux et sableux (gris, bleu et jaune) puis des marnes (grises, noires et brunes) puis du charbon ;

⁷ La BBS comporte une erreur, le point 10203X0072/F nommé Saint-Michel n°1 est en fait le puits Saint-Michel n°2 et le point 10203X0071/F nommé puits Saint-Michel n°2 est en fait le puits Saint-Michel n°1.

⁸ La BBS comporte une erreur le point 10203X0072/F nommé Saint-Michel n°1 est en fait le puits Saint-Michel n°2 et le point 10203X0071/F nommé puits Saint-Michel n°2 est en fait le puits Saint-Michel n°1.

- de 78 m à 108 m : des marnes (bigarrées, compactes, vertes, noduleuses et molles) puis du grès ;
- de 108 à 124 m : des calcaires argileux/marneux (gris et noir).

Le point 10203X0070/F (puits René au quartier Saint-Hilaire) présente les horizons suivants :

- terre végétale de 0 à 1,3 m de profondeur ;
- alternance de bancs d'épaisseurs décimétriques à métriques d'argile, de marnes et de calcaire, entre 1,3 et 16,8 m de profondeur ;
- lignite et calcaires de 16,8 à 19 m de profondeur ;
- alternance de bancs de calcaires d'épaisseurs décimétriques et de ravettes de lignite de 19 à 22,35 m de profondeur.

Enfin, au puits des Auberges (point 10202X0093/F), au centre du quartier exploité :

- de 0 à 8 m : des sables et graviers (alluvions) ;
- de 8 à 15 m : des marnes et sables fins ;
- de 15 à 18 m : des argiles bariolées ;
- de 18 à 20 m : des marnes grises (fossilifères) ;
- de 20 à 30 m : des marnes grises et des passées de grès jaune ;
- de 30 à 31 m : des marnes calcaires ;
- de 31 à 32 m : du lignite ;
- de 32 à 37 m : des marnes grises et des calcaires gris ;
- 37 à 40 m : des calcaires et du lignite.

Ainsi, les formations lignitifères des concessions de La Fare et de Coudoux sont recouvertes par les terrains du Santonien qui débutent par des calcaires grossiers, rognoneux à rudistes, surmontés par des calcaires compacts et des marnes sableuses. La série se complète par des marnes sableuses à huîtres, puis par des calcaires gréseux (à l'est de Coudoux). On note au sommet de la série quelques passées gréseuses lenticulaires, des marnes sableuses et des calcaires ferrugineux. Enfin, le dépôt d'alluvions fluviales de l'Arc (notés Cy en vert sur la carte ci-après) plus ou moins récentes, est parfois important (sables, graviers, limons argileux). Les alluvions rissiennes à galets calcaires et siliceux sont largement représentées dans la région de la Fare (notés Fx en vert sur la carte ci-après). Ces alluvions « *non consolidés* » sont qualifiés de « *points de faiblesse* » des puits et descenderies des sites miniers.

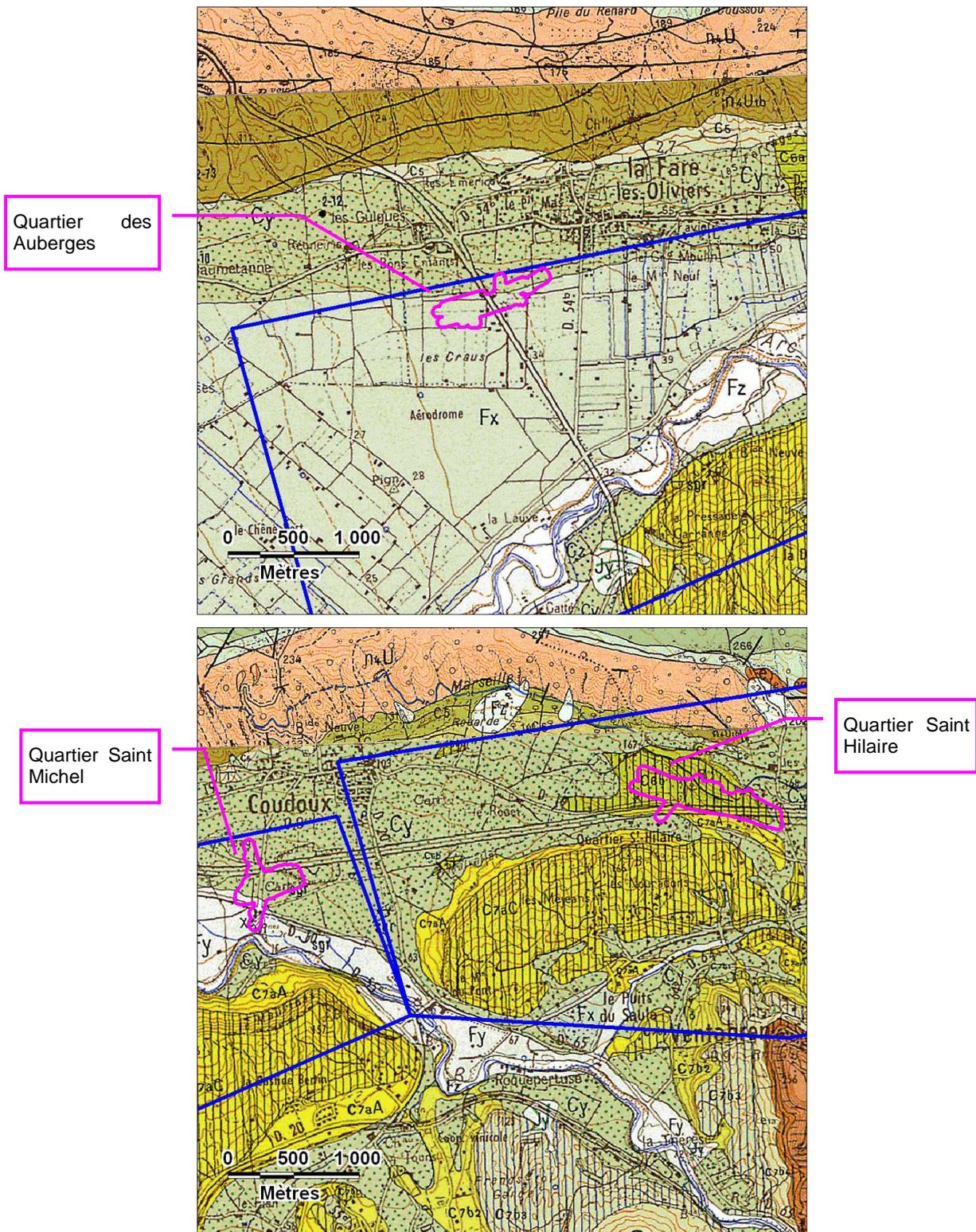


Figure 16 : Contextes géologiques des sites exploités sur les concessions de La Fare et Coudoux (BRGM)

Tectonique :

Les concessions de Coudoux et La Fare se situent à l'ouest de la faille d'Aix vers l'ouest (voir paragraphe 2.3 de la partie informative à la page 25), dans ce secteur, les accidents découpent le gisement selon une orientation NNW-SSW et jouent en extension.

Les plans des travaux disponibles révèlent que le quartier Saint-Michel était relativement fracturé. En effet, sur une superficie d'environ 10 ha, une douzaine de failles aux rejets variables (de moins de 1 m à 4 m) a été recensée. Le quartier des Auberges apparaît moins fracturé avec 2 ou 3 failles dont une majeure au rejet de 6 m, pour une superficie d'environ 20 ha. Les données sont moins précises pour le quartier Saint-Hilaire, mais par similitude des sites, l'état de fracturation de ce quartier est probablement proche de celui des deux précédents.

4.4 CARACTERISTIQUES LOCALES DES COUCHES LIGNIFERES

4.4.1 PUISSANCE EXPLOITEE

Dans le quartier Saint-Hilaire, le minerai se présente en 3 bancs d'épaisseur pluridécimétriques, exploités comme une seule couche de 1,7 m de puissance totale et de 0,9 m de puissance utile. Dans les quartiers Saint-Michel et des Auberges, le minerai présenté en 7 bancs d'épaisseur de 10 à 20 cm, est exploité comme une seule couche d'au maximum 2,3 m de puissance et de 1,2 à 1,6 m de puissance utile.

4.4.2 PENDAGE DES COUCHES EXPLOITEES

A l'affleurement du charbon, au nord de la concession de Coudoux, le gisement s'enfonce vers le sud avec un pendage de 20 à 30°.

Dans les travaux miniers des quartier Saint-Hilaire et Saint-Michel, le pendage de l'exploitation est généralement voisin de 25-30°. Au quartier des Auberges, le pendage est généralement moins important et compris entre 20° et 30°.

4.4.3 PROFONDEURS DES COUCHES EXPLOITEES

Quartier des Auberges :

Le puits des Auberges, photo 10 en annexe, fait environ 43 m de profondeur (cote au jour +35 m NGF et cote au fond -8 m NGF).

La galerie de base la plus profonde se situe à la cote -23 m NGF (valeur constante d'est en ouest du quartier). En tenant compte du pendage moyen de la couche de 25° pris sur une distance horizontale de 40 m depuis le point repéré à la cote -8 m NGF, la galerie de tête la moins profonde se situe à la cote 10 m NGF⁹. Les profondeurs des zones exploitées sont donc comprises entre 22 et 55 m environ, en tenant compte des cotes en surface variant de 32,5 m NGF à 37,5 m NGF d'ouest en est.

⁹ ce calcul a été vérifié sur des points cotés ailleurs sur les plans de travaux

Quartier Saint-Michel :

La descenderie Saint-Michel passe à environ 50 m de profondeur sous l'autoroute. Le puits Saint-Michel n°2 mesure 24 m de profondeur et le puits Saint-Michel n°1 124 m. La plus profonde des galeries de base se situe à la cote -68 m NGF. La moins profonde des galeries de tête se situe environ à la cote -3 m NGF (estimation réalisée depuis les plans en tenant compte d'un pendage moyen de 30° de la couche sur une distance horizontale de 110 m depuis le point repéré à la cote -67 m NGF).

Les profondeurs des zones exploitées sont donc comprises entre 58 m et 125 m environ du nord au sud, en tenant compte des cotes en surface variant 55 m NGF à 68 m NGF du nord au sud.

Quartier Saint-Hilaire :

Les travaux du quartier Saint-Hilaire sont situés entre les cotes 140 m et 71 m NGF. Ainsi, l'épaisseur de terrains comprise entre la surface et la couche exploitée varie du nord au sud, de 25-30 m à 78 m maximum (compte tenu des variations d'altitude en surface entre 145 et 185 m NGF). Notons que le versant de la vallée a un pendage moins fort que celui de la couche, d'où les profondeurs observées.

4.4.4 PROPRIETES DU CHARBON EXPLOITE

A la différence du charbon exploité par les HBCM sur le reste du bassin de Provence, le charbon exploité sur ces deux concessions était généralement de qualité médiocre. Ce charbon présente probablement des caractéristiques géomécaniques moins bonnes que celles établies ailleurs plus au centre du bassin de Provence (Tableau 1 et Tableau 2 à la page 27).

4.5 HYDROLOGIE LOCALE

L'hydrologie de cette zone est uniquement caractérisée par le ruisseau de l'Arc. C'est l'un des plus importants cours d'eau du département des Bouches-du-Rhône, tant par l'étendue de son bassin versant (720 km²) que par le linéaire total du lit (85 km). Son exutoire est l'étang de Berre.

Dans la plaine de Berre, la capacité du lit fluctue autour du débit décennal. Les débordements et la forte activité érosive associés à l'extension des cultures jusqu'en bord de rivière ont incité les riverains à aménager les berges et à protéger leurs terrains par des endiguements ponctuels. Les inondations courantes concernent essentiellement les terres agricoles et quelques propriétés isolées.

L'Arc est une rivière qui souffre énormément de la pollution domestique, notamment à cause d'une population importante et toujours croissante et d'un étiage estival sévère, typique de son climat méditerranéen, aggravé par des prélèvements agricoles et industriels (notamment en Basse Vallée).

La qualité de l'eau de l'Arc sur le secteur d'étude est médiocre (classe 2), caractéristique d'une pollution nette. Cette pollution est essentiellement due à des rejets ponctuels urbains. Compte tenu de la mauvaise qualité des eaux, le cours inférieur de l'Arc ne présente pas de caractéristiques floristiques et faunistiques remarquables.

4.6 HYDROGEOLOGIE LOCALE ET MINIERE

Plusieurs aquifères ont perturbé l'exploitation du lignite et notamment celui des dépôts fuvéliens, constitués de sables, grès et argiles. Au niveau des concessions minières, ces aquifères suivent la faible pente topographique. Les cailloutis du delta de l'Arc constituent un appareil aquifère important, dont les épaisseurs peuvent dépasser 20 mètres. La nappe, présente à faible profondeur, est alimentée par l'Arc et soutenue par l'irrigation. Sa productivité est moyenne : d'un point de vue général autour de l'étang de Berre, malgré la grande extension des terrains perméables, les ressources disponibles sont faibles, environ 1 m³/s.

Aux quartiers Saint-Michel et des Auberges, depuis l'arrêt des travaux miniers, la nappe a repris son niveau originel, en communication avec la rivière de l'Arc.

Les travaux miniers du quartier Saint-Michel débordent épisodiquement par le puits Saint-Michel n°1 (à la cote 55 m NGF) et dans la descenderie Saint-Michel avant sa fermeture « *l'eau avait été observée à environ 36 m de son entrée* » [10], soit à la cote 54 m NGF. Ainsi, la majorité des travaux miniers (situés entre les cotes -3 et -68 m NGF) est aujourd'hui ennoyée.

Au quartier des Auberges, le puits des Auberges ne déborde pas souvent mais le niveau d'eau est généralement proche de la surface (présence « *du niveau d'eau à fleur de terre* » au puits des Auberges lors des opérations de mise en sécurité du puits [10]), les travaux miniers situés en totalité au-dessous de la cote -23 m NGF sont donc probablement intégralement ennoyés.

Au quartier Saint-Hilaire, lors des travaux de mise en sécurité du puits (photo 14 en annexe) en 1997, le niveau variait entre 30 et 40 m sous la surface. Ce niveau, correspondant au niveau originel de la nappe, s'établit donc entre les cotes 128 et 138 m NGF. Ainsi, la totalité des travaux miniers de ce quartier, situés entre les cotes 71 et 139 m NGF, est donc intégralement noyée.

Notons que, la forte contamination des eaux de la nappe de l'Arc (pollution par les nitrates, présence de molécules de pesticides) est incompatible avec les exigences de qualité requises pour la consommation humaine et limite donc les captages dans cette zone. Pour des informations complémentaires sur l'impact des travaux miniers sur la ressource en eau le lecteur se reportera au paragraphe 4.14 (partie B).

4.7 METHODE D'EXPLOITATION

La majorité des travaux a été menée à partir de couches affleurantes. Néanmoins, contrairement aux travaux des concessions de Vèdes, Liquette et Bassan, ceux des concessions de Coudoux et La Fare sont « plus modernes », les méthodes d'exploitation ne sont donc pas les mêmes.

4.7.1 PERIODE ANCIENNE

Les premiers travaux sont datés des années 1830. Aucune information précise sur la méthode suivie à cette époque n'a été retrouvée. Par similitude aux autres mines de lignite de cette époque (Vèdes et bassin de Provence), il est probable que ces travaux aient consisté en des grattages, des descenderies à faible profondeur. De tels travaux seront supposés sur les trois quartiers de Saint-

Michel, Saint-Hilaire et des Auberges, entre l’affleurement des couches de lignite au nord et les premiers travaux repérés sur plan vers le sud.

4.7.2 PERIODE INTERMEDIAIRE

De 1840 à 1930, seul le quartier de Saint-Hilaire connaît une période d’exploitation. Peu ou pas d’informations ont été retrouvées sur ces travaux menés principalement entre 1877 et 1883.

Par similitude aux autres exploitations connues de cette époque (HBCM), la méthode alors suivie était sans doute comparable à celle des chambres et piliers abandonnés ou foudroyés ou très partiellement remblayés (voir paragraphes 3.2.1 et 2.7 de la partie B). Une des variantes consiste à laisser des piliers en quinconce. Elle a été employée dans le secteur de Trets dans les mines des HBCM et est qualifiée de méthode « *en échiquiers par piliers abandonnés de 7 à 10 m de côté* » dans un rapport d’ingénieur des mines daté de juillet 1866.

Ces travaux bien souvent localisés à faible profondeur, entre les grattages des périodes antérieures et les exploitations rationnelles de la période suivante, comporte probablement encore des vides résiduels.

4.7.3 PERIODE « MODERNE »

4.7.3.1 QUARTIER SAINT-MICHEL ET QUARTIER SAINT-HILAIRE

De 1920 à 1933, pour le quartier Saint-Michel et de 1916-1918 à 1924 pour celui de Saint-Hilaire, l’exploitation souterraine s’intensifie et s’approfondit. La modernisation permet la mécanisation des mines et la méthode d’exploitation suivie est celle des tailles montantes, à gradins renversés, avec remblayage complet et, abandon, suivant la tenue du toit, de piliers massifs ménagés si possible dans la partie pauvre du gisement.

Un mineur (référence (i) au paragraphe 1.3), a précisé que les tailles étaient remblayées mais en partie uniquement. Une galerie de 2 m de large entre les chantiers et une autre galerie, de mêmes dimensions, au-dessus des chantiers, était laissée vide après l’exploitation. Il est vraisemblable que les galeries de base protégées de remblais sus-jacents par un plancher temporaire (planches de bois ou grillage) et permettant l’évacuation du minerai, aient aussi été laissées vides (Figure 17 et Figure 19).

Une variante de cette méthode, dite méthode des arrêtes de poisson, a été appliquée sur les concessions des HBCM à la même époque, basée sur le principe identique (tailles montantes remblayées). Il est possible qu’elle ait aussi été mise en place sur les concessions de La Fare et de Coudoux (Figure 18).

Le remblayage était réalisé avec les stériles afin de conforter le toit et d’éviter de remonter en surface les blocs calcaires non valorisables. Ces stériles étaient simplement versés et s’écoulaient gravitairement dans les chantiers vides. Des galeries pouvaient être maintenues ouvertes au sein des remblais pour la circulation des mineurs et l’acheminement du charbon abattu.

Cette méthode ancienne laisse néanmoins penser que des vides résiduels peuvent subsister, malgré le remblayage. Les plans disponibles révèlent que :

- deux niveaux ont été exploités au quartier Saint-Hilaire ;

- trois niveaux ont été exploités au quartier Saint-Michel.

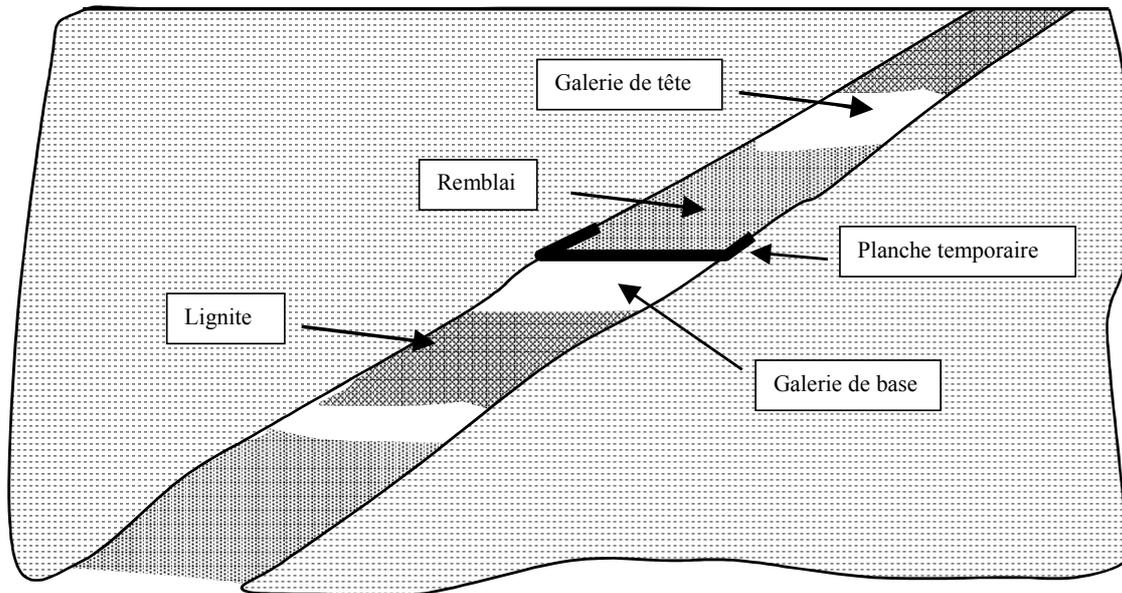


Figure 17 : Vue en coupe de la méthode d'exploitation avec remblayage (galerie de tête et de base)

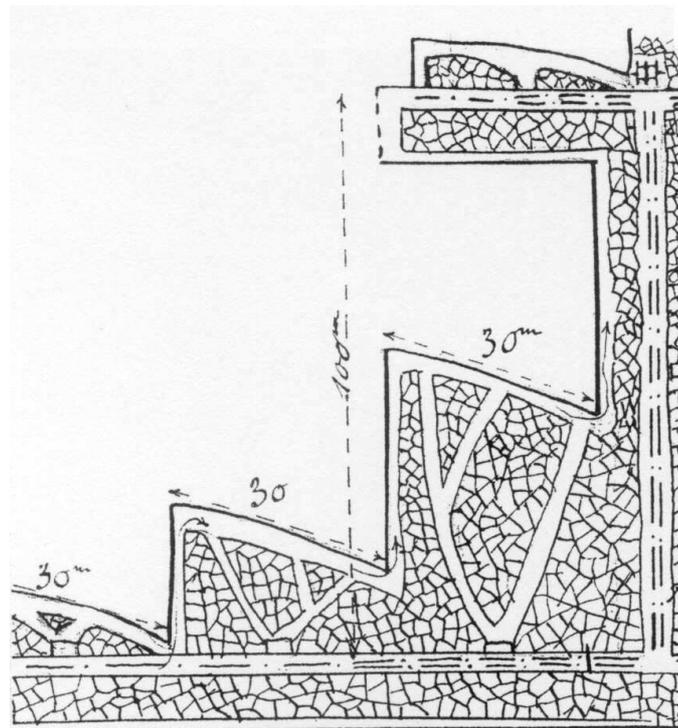


Figure 18 : Exploitation par la technique dite par « arêtes de poisson » (concessions des HBCM, [6])

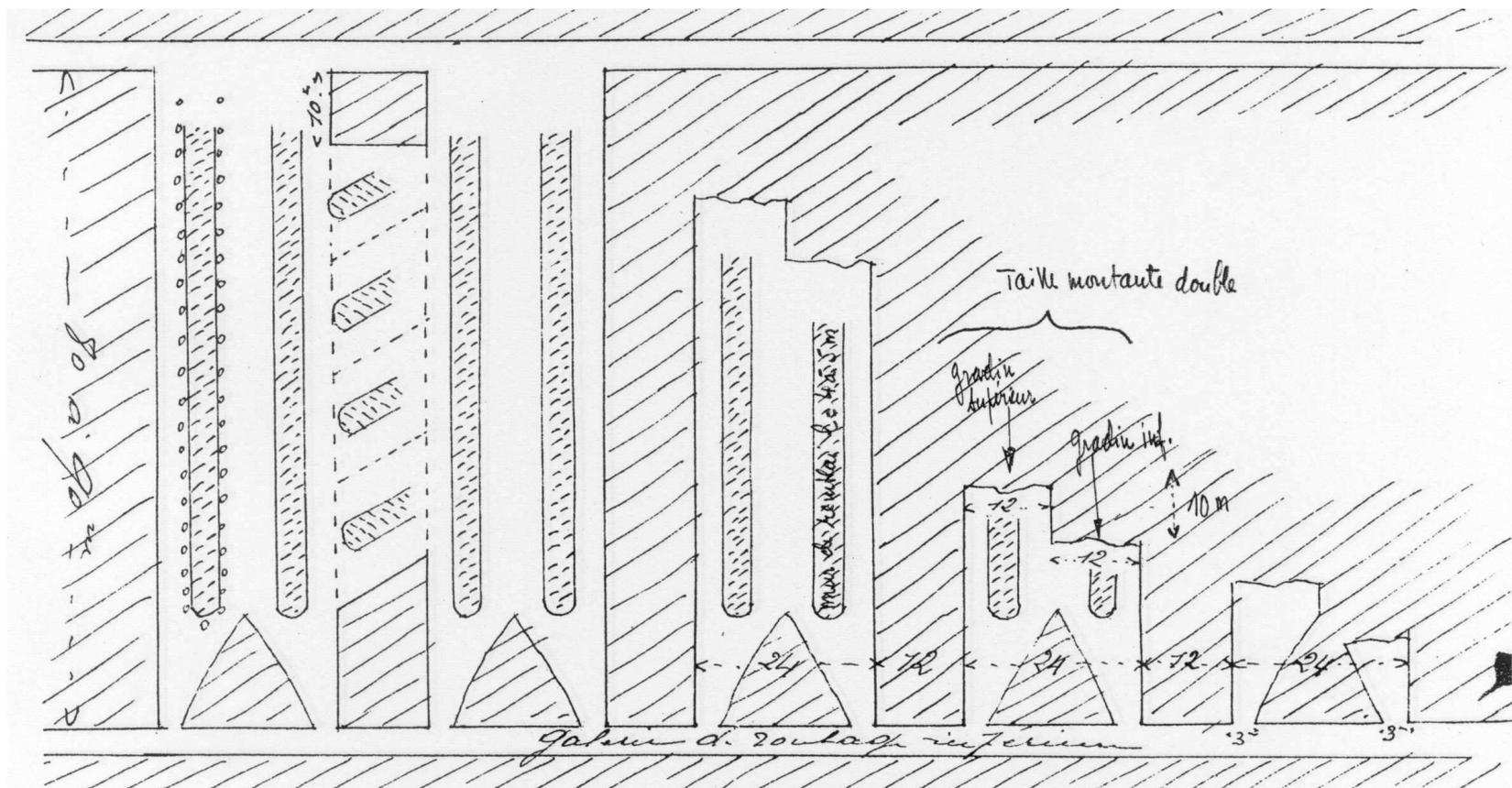


Figure 19 : Schéma explicatif de la technique d'extraction par courte taille (concession HBCM à proximité du puits Biver [6])

4.7.3.2 QUARTIER DES AUBERGES

Exploité plus tardivement (de 1940 à 1948), le quartier des Auberges a été dépilé selon la même méthode que précédemment à la seule différence que le remblayage a pu être aidé hydrauliquement (remblai + liant) augmentant ainsi sa qualité et limitant l'existence de vides résiduels post exploitation. En effet, ce type de remblayage a commencé à être utilisé dès les années 1930 sur les concessions HBCM.

Les plans disponibles, révèlent que deux massifs ont été exploités au quartier des Auberges depuis deux galeries de base distinctes (niveau 23 et niveau 8).

4.8 PRODUCTION

Quartier Saint-Hilaire :

La production totale de la concession de Coudoux (quartier Saint-Hilaire) n'est pas connue exactement, seule la valeur de 101695 tonnes a été retrouvée pour la période de 1918 à 1924 (correspondant à la période d'exploitation la plus intense de la mine).

Quartier des Auberges :

La production journalière de lignite, maintenue assez constamment pendant 8 ans d'exploitation, était de « 15 wagonnets d'environ 100 Kg par jour » (i), soit une production maximale totale d'environ 4300 tonnes de lignite (le minerai était trié au fond). Cette production paraît toutefois faible au vue de l'extension de la mine sur les plans comparable à celle du quartier Saint-Hilaire.

Quartier Saint-Michel :

La surface exploitée a été estimée à environ 22500 m² (d'après plans 13), soit un volume total extrait (stériles et lignite) d'environ 45000 m³ (en tenant compte d'une ouverture moyenne de 2 m).

4.9 OUVRAGES DEBOUCHANT EN SURFACE

12 ouvrages ont été recensés sur l'ensemble des 2 concessions de La Fare et Coudoux. Les principales caractéristiques de ces ouvrages sont synthétisées dans le tableau ci-après.

La localisation de l'ensemble des ouvrages est présentée sur la carte informative en annexe.

N° identifiant	Nom de l'ouvrage	Coordonnées (Lambert II étendu)		Source	Incertitude (m)	Rôle	Diamètre (m) ou hauteur (m)	Profondeur estimée (m)	Observations et remarques
		X	Y						
FG1	Descenderie Saint-Michel	835126,4	1843385,3	Archive et terrain	5	exploitation	2,2	inconnue	Pentée à 19° Remblayée, équipée d'un bouchon puis correctement mise en sécurité (voir paragraphe 0 partie B)
FG2	Descenderie des Auberges	830567,8	1842490,7	archives	5	exploitation	2	inconnue	Fermée par un mur en brique d'après le rapport de renonciation du 12/04/1960, aujourd'hui introuvable. Les propriétaires des terrains ne communiquent pas sur cet ouvrage mais l'ont vu lors de la construction des maisons.
FP1	Puits Saint-Michel 2	835134,3	1843290,5	archives	10	exploitation	2,1	31	Aucune trace retrouvée sur site, probablement remblayé.
FP2	Puits St-Michel n°1	83517	1842785,9	dGPS	5	exploitation	4,3	124	Remblayé avec du calcaire grossier et équipé d'une dalle béton (voir paragraphe 0 partie B). Il se situe sur le terrain d'une entreprise de matériaux, de l'eau rouge a été observée à 1m sous la dalle (fait l'objet d'un pompage occasionnel) (photo 11 en annexe).
FP3	Puits des auberges	830515,2	1842340,5	DGPS	2	exploitation	3	50	Remblayé avec du calcaire grossier et du ballast 30-60mm (sur les 15 derniers mètres) et il est équipé d'une dalle (voir paragraphe 0 partie B). Il fait l'objet d'un pompage occasionnel l'eau se situant à moins d'un mètre sous la dalle (photo 10 en annexe)

Tableau 13 : Inventaire des ouvrages débouchant en surface sur la concession de La Fare

N° identifiant	Nom de l'ouvrage	Coordonnées (Lambert II étendu)		Source	Incertitude (m)	Rôle	Diamètre (m) ou hauteur (m ²)	Profondeur estimée (m)	Observations et remarques
		X	Y						
CG1	Remontée d'aérage (Ouest)	838301	1843886,8	archives	10	aérage	2	inconnue	Ouvrage non visible
CG2	Descenderie de Saint - Hilaire	838436,1	1843832,6	dGPS	2	exploitation	2	90	Penté à 39° Ouverte et voûtée en pierre, elle a été au 3/4 remblayée en 1934 (pénétrable à plat ventre). Entrée située dans le talus de la route communale et visible.
CG3	Descenderie de la Piscine	838539,75	1843832,6	Rapport MICA [8]	5	exploitation	2	60	Penté à 40° puis 25° Bon état de l'entrée. Rejoint le premier niveau exploité à 25 m de prof. Accès muré, ouvrage non remblayé et le toit de la première chambre d'exploitation soutenu par un pilier (Rapport MICA [8]).
CG4	Descenderie de l'abondance	838583,5	1843819,2	Rapport MICA [8]	5	exploitation	inconnue	inconnue	Pentée à 45° Remblayée gravitairement avec du matériau fin 80 m ³ (Rapport MICA [8]).
CG5	Remontée d'aérage (Est)	838934,1	1843770,3	archives	10	aérage	2	inconnue	Effondrée et/ou non retrouvée, probablement non traitée. Un effondrement conique pourrait en signaler la présence.
CG6	Galerie Bertrand	838269,5	1843604,	dGPS	5	recherche	inconnue	inconnue	Entrée équipée d'un coffrage en béton. Origine minière incertaine, ouvrage ressemblant à un tunnel en béton pour l'écoulement des eaux. (photos 15 et 16 en annexe)
CP1	Puits René	838533,7	1843850,1	dGPS	5	exploitation	4	98	Equipé d'un bouchon en béton de 5 m de haut (100 m ³), le tout posé sur un mur situé à la côte - 25 m au niveau de la première « recette ». Un complément de 380 m ³ de tout venant a été réalisé (photo 14 en annexe)

Tableau 14 : Inventaire des ouvrages débouchant en surface sur la concession de Coudoux

4.10 TRAVAUX DE MISE EN SECURITE

Ces travaux ont été réalisés en 2000, 2001, 2002 et 2003 (voir paragraphe 4.2 partie B). A cette occasion :

- le puits Saint-Michel n°1 a été remblayé, sans serrement, jusqu'en surface avec 1950 m³ de matériaux grossiers calcaires (les remblais étaient déversés dans le puits). Une dalle carrée ferrillée et bétonnée de 30 cm d'épaisseur et de 6x6 m de côté a été réalisée. Des tubes d'évacuation d'eau ont été mis en place pour drainer les eaux de débordement ;
- le puits Saint-Michel n°2 n'a pas été retrouvé, il n'a donc pas été mis en sécurité. La zone du puits avait été le siège d'une exploitation de granulats alluvionnaires en carrière avant la construction de l'autoroute A8 (années 80). La zone avait ensuite été recouverte de remblais ;
- la descenderie Saint-Michel a été équipée d'un bouchon auto-bloquant à environ 36 m de l'entrée à une profondeur de 12 m [coffrage sur des planches de 40 mm d'épaisseur reposant sur des fers à béton de gros diamètre implantés en étoile et soudés - coulage de 21 m³ de béton occupant 5 m de longueur de la galerie]. Des tubes d'évacuation d'eau ont été mis en place pour équilibrer les pressions hydrauliques de part et d'autres du bouchon. Le reste de la galerie a été remblayé jusqu'en surface avec du matériau fin (sable et gravier) transporté pneumatiquement. Au-delà du bouchon, sur une longueur de 260 m, la galerie n'a pas été remblayée ;
- le puits des Auberges a été remblayé jusqu'à 15 m de la surface avec 250 m³ de matériaux grossiers calcaires (les remblais étaient déversés dans le puits). Déversement, sur les 15 derniers mètres, de ballast (30-60 mm). Il a été équipé d'une dalle carrée ferrillée et bétonnée (3,2 m³) de 20 cm d'épaisseur et de 4x4 m de côté. Des tubes crépinés pour la lutte contre les incendies et pour l'irrigation ont été installés. Un cabanon en béton a été construit à l'emplacement du puits ;
- la descenderie des Auberges n'a pas été retrouvée, elle n'a donc pas été mise en sécurité lors de ces travaux ;
- les travaux exécutés sur les ouvrages de la concession de Coudoux sont synthétisés dans le Tableau 14.

4.11 TERRILS, DEPOTS DE STERILES ET BATIMENTS

On ne dispose d'aucun document mentionnant la présence de versos ou de terrils dans l'emprise des deux concessions de La Fare et de Coudoux. Lors des visites aucun dépôt en surface n'a été observé.

Comme un premier tri des produits se faisait au fond, il y a eu probablement peu de dépôts importants en surface et la végétation abondante dans le secteur a probablement recouvert ces « petits » dépôts potentiels.

Quelques bâtiments de l'ancienne mine du quartier Saint-Hilaire subsistent, certains ont été reconvertis en maisons d'habitation (propriété Pignatel).

De même, à proximité du puits des Auberges un seul bâtiment de la mine subsiste, toutes les autres infrastructures ont disparu.

4.12 DESORDRES CONNUS EN SURFACE

4.12.1 QUARTIERS SAINT-MICHEL ET DES AUBERGES

Sur la concession de La Fare, aucun désordre de type mouvement de terrain n'a été mentionné dans l'ensemble des documents consultés.

A ce jour, les services des mairies de La Fare-les-Oliviers et de Coudoux n'ont pas eu connaissance de désordres de type mouvement de terrain dans les secteurs concernés par les travaux souterrains.

Les différentes personnes rencontrées (agriculteurs, propriétaires d'habitations, anciens mineurs) ayant pu témoigner de leur « vécu » du site n'ont jamais eu connaissance d'un quelconque désordre de type mouvement de terrain dans l'un ou l'autre des quartiers des Auberges ou Saint-Michel.

4.12.2 QUARTIER SAINT-HILAIRE

La descenderie de Saint-Hilaire (photos 12 et 13 en annexe) se serait « éboulée » lors du creusement de la route du « Mas des Sous Bois ».

Un affaissement de forme conique peu profond, observé en 2002, pourrait avoir été occasionné par un désordre au droit de la remontée d'aérage (G4), il n'a pu être localisé même avec une incertitude.

A ce jour, les services des mairies de Ventabren et de Coudoux n'ont pas eu connaissance de désordres de type mouvement de terrain dans les secteurs concernés par les travaux souterrains.

Lors des visites de sites, 4 désordres ont été repérés à proximité des zones de travaux. Ils ne se situent pas exactement au droit des travaux miniers connus. Deux d'entre eux sont assimilables à des effondrements localisés limités, les deux autres correspondent à des dépressions de terrains dont l'origine minière n'est pas évidente. Les principales caractéristiques de ces phénomènes sont synthétisées dans le tableau ci-après.

N°d	Type de désordre	Coordonnées (Lambert II étendu)		Dimensions (m)			Observations et remarques
		X	Y	Longueur	Largeur	profondeur	
CD1	Dépression	838264,6	1843923,5	30	30	0,5	Origine minière discutable
CD2	Dépression	838349,7	1843831,1	20	20	0,5	Origine minière discutable
CD3	Fontis	838424,4	1843968	3	3	1	A priori récent, (voir photo 17 en annexe)
CD4	Fontis	838773,5	1843868,7	2	1	0,4	Néant

Tableau 15 : Désordres recensés et/ou observés sur les travaux miniers des concessions de La Fare et Coudoux

4.13 GAZ DE MINE ET FEUX SOUTERRAINS

Dans l'ensemble des trois quartiers exploités sur ces 2 concessions, les archives retrouvées ne mentionnent jamais d'évènements relatifs à des incendies de mines.

En revanche, en 2002, dans le quartier Saint-Hilaire, suite aux opérations de mise en sécurité du puits René (noté CP1), une odeur prononcée de H₂S avait été notée dans la descenderie de la piscine.

Lors de la visite de terrain, aucune zone en combustion n'a été repérée sur les terrils inspectés.

4.14 ENVIRONNEMENT

A l'image de la campagne d'échantillons réalisée sur les concessions de Vèdes, Bassan et Liquette celle réalisée sur les concessions de La Fare et de Coudoux a aussi souffert de conditions plutôt « sèches ». Ainsi, 5 échantillons ont été collectés sur l'Arc à proximité des concessions de La Fare et de Coudoux (localisation sur carte informative en annexe) :

- CPr4 et Cpr5, à proximité de la concession de Coudoux et en amont de toutes zones exploitées ;
- FPr1 en aval du quartier Saint-Hilaire et en amont des quartiers Saint-Michel et des Auberges ;
- FPr2 en aval des quartiers Saint-Hilaire et Saint-Michel et en amont du quartier des Auberges sur la concession de La Fare.
- FPr3 en aval de tous les quartiers exploités.

Les principales caractéristiques des analyses réalisées sur ces échantillons sont synthétisées ci-après.

Les résultats des analyses chimiques révèlent qu'il n'y a pas d'enrichissement en éléments analysés entre l'amont et l'aval des travaux sur la rivière de l'Arc ; mais au contraire elles traduisent une légère baisse des teneurs en sulfates, fer, zinc et calcium ainsi qu'une valeur quasi constante en magnésium, manganèse et cuivre. Seule la teneur en nickel augmente mais reste faible (2 µg/l) et inférieure aux exigences.

Le débit sur ces secteurs a été estimé à environ 1 l/s.

Les teneurs obtenues en Plomb (Pb), Cuivre (Cu), Chrome (Cr), Nickel (Ni), Arsenic (As) et Cadmium (Cd) sont inférieures ou égales aux seuils de quantification. Les teneurs obtenues en métaux, mercure et sulfates sont faibles.

		Désignation d'échantillon					Exigences minimales pour une eau destinée à la consommation humaine ¹⁰	NQE _p (Eaux de surface intérieures ¹¹)
		FPr1	FPr2	FPr3	CPr4	CPr5		
Sulfates (SO ₄)	mg/l	170	170	150	120	180	250	-
Fer (Fe)	mg/l	0,14	0,085	0,087	0,024	0,11	0,2	-
Mercure (Hg)	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	1	1
Plomb (Pb)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10		7,2
Cuivre (Cu)	µg/l	3	3	3	<3	3	0,002	Bruit de fond géochimique + 1,4
Chrome (Cr)	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	50	Bruit de fond géochimique + 3,4
Nickel (Ni)	µg/l	2	2	<2	<2	<2	20	20
Arsenic (As)	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	10	Bruit de fond géochimique + 4,2
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	5	5
Zinc (Zn)	µg/l	20	16	17	1	21		(dureté < 24mgCaCO ₃ /L) Bruit de fond géochimique + 3,1 (dureté > 24mgCaCO ₃ /L) Bruit de fond géochimique + 7,8
Calcium (Ca)	mg/l	140	140	140	160	150		-
Manganèse (Mn)	mg/l	0,015	0,008	0,008	0,004	0,014		-
Magnésium (Mg)	mg/l	16	16	15	16	16		-

Tableau 16 : Résultats des analyses d'eau menés sur les échantillons prélevés sur les concessions de La Fare et de Coudoux

¹⁰ Directive européenne n°98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

¹¹ Circulaire actuellement proposée par l'INERIS au Ministère de L'Ecologie Et Du Développement Durable (Direction De L'eau - Direction de La Prévention des Pollutions et des Risques) en application de la Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (DCE) et de la Circulaire DCE 2005/12 du 28 juillet 2005 relative à la définition du « bon état ».

5 CARTOGRAPHIE INFORMATIVE

Les documents correspondants sont présentés en annexe 4a et 4b.

5.1.1 GEOREFERENCEMENT DES TRAVAUX MINIERS

Les plans disponibles, listés au paragraphe 3.1 de la partie B), ont été scannés par l'INERIS. Les travaux de géoréférencement ont été réalisés avec le logiciel ERMAPPER®. Les relevés, effectués au dGPS, des ouvrages miniers encore visibles en surface ont constitué des points de calage des plans. A défaut d'ouvrages visibles en nombre suffisant pour caler les plans, ce sont les repères topographiques ou urbains (routes, carrefours, anciens bâtiments...) qui ont été utilisés comme points de référence.

Les plans cartographiques rectifiés, restent bien souvent de médiocre qualité et incomplets pour certains. Ainsi, il a été décidé de tenir compte de la nature géologique des terrains pour définir certaines zones présumées de travaux (voir quartier des Estiennes ou de Daurenque au paragraphe 3.2.4 partie B).

5.1.2 SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Les éléments reportés sur les cartes informatives en annexe sont présentés sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) élaboré à l'aide du logiciel MAPINFO 8.0. Toutes les données sont projetées dans le même système de coordonnées LAMBERT II CARTO. Ces informations sont synthétisées dans des couches ou tables (fichiers informatiques d'extension .tab) suivantes :

- la BD ORTHOPHOTOPLAN de l'IGN ;
- les limites des communes ;
- les limites des concessions ;
- les cours d'eau ;
- les affleurements des couches de lignite connus ou supposés ;
- les limites des zones de travaux miniers digitalisés à partir des plans des travaux scannés et géoréférencés ;
- les ouvrages débouchant en surface (puits, descenderies ou cheminées) en précisant s'ils sont traités ou non ;
- les désordres en surface, connus, actuellement visibles ou répertoriés dans les archives (zone affaissée, effondrements ouverts ou remblayés) ;
- les emprises des travaux supposés ;
- les points de prélèvements pour analyse des eaux.

5.1.3 INCERTITUDES DE LOCALISATION

5.1.3.1 INCERTITUDES SUR LA POSITION DES INDICES MINIERS

Pour chaque indice minier (puits, cheminée, descenderie, effondrements...) positionné sur les cartes informatives, une incertitude de localisation a pu être évaluée. Cette incertitude varie de 0,3 à 2 m pour les indices reconnus et levés au dGPS, de 3 à 5 m pour ceux levés au GPS et jusqu'à 50 m pour les indices issus

d'anciens plans d'archives non retrouvés sur le terrain. L'incertitude des indices non retrouvés est estimée en fonction de l'incertitude de calage du plan qui positionne l'ouvrage.

5.1.3.2 INCERTITUDES SUR LA LOCALISATION DES TRAVAUX MINIERES

L'incertitude finale sur la localisation des travaux miniers peut être décomposée globalement de la sorte :

- incertitude intrinsèque du plan, liée au contour ou à la représentation des zones de travaux qui le composent, elle est le plus souvent fonction de la répartition des ouvrages sur les travaux. De manière générale, un plan comprenant un ouvrage unique ou un ensemble d'ouvrages alignés aura une incertitude plus grande qu'un plan avec des ouvrages répartis uniformément. D'autres paramètres, plus subjectifs, comme la date de l'établissement ou la qualité du dessin (main levée ou DAO) peuvent également entrer en jeu dans l'appréciation de l'incertitude ;
- incertitude liée à la reproduction du plan. Elle est fonction du moyen de reproduction. Par exemple, photographier¹² un plan provoquera une incertitude plus grande que de le scanner directement ;
- incertitude liée à l'opération de géoréférencement, elle dépend, dans sa plus grande partie, de l'incertitude des points de calage ;
- incertitude liée au choix du support cartographique. Ici (BD ORTHO de l'IGN) cette incertitude est estimée à 3 m.

La qualité des plans étant variable et la position des ouvrages plus ou moins bien connue, une incertitude globale (fonction de l'incertitude de géoréférencement, celle de reproduction, l'incertitude intrinsèque du plan et l'incertitude du support cartographique) a été définie pour chaque secteur exploité (Tableau 17).

¹² méthode pratiquée lorsque les documents originaux ne peuvent pas être sortis des archives comme ce fut le cas ici.

Concessions	Quartiers	Source	Incertitude globale
Vèdes	Quartier des Estiennes	Plans calés	incertitude de 10 m
	Quartier du Puits de Vèdes ⁽¹⁾	Plans calés	Incertitude de 15 m
	Quartier de Daurenque	Plans calés	incertitude de 5 m au nord à 15 m au sud
	Quartier des Lagets	dGPS	incertitude de 5 m
	Quartier de la descenderie de Liquette ⁽¹⁾	Plans calés	Incertitude de 15 m
	Quartier de l'Intendant	Plans calés	incertitude de 20m sauf au sud-ouest (5 m)
Bassan	Quartier de Braou	Plans calés	incertitude de 10 à 15 m
	Quartier de Villecroze	Scan25	incertitude de 50 m (comprise dans l'enveloppe)
Coudoux	Quartier Saint-Hilaire	dGPS	incertitude de 5 à 10 m
La Fare	Quartier des Auberges	dGPS	incertitude de 5 à 10 m
	Quartier Saint-Michel	dGPS	incertitude de 5 à 10 m

Tableau 17 : Estimation des incertitudes des zones de travaux du bassin de La Fare - Vèdes

- (1) des données plus précises sur le géoréférencement de ces zones ont été demandées au propriétaire (g) qui avait fait faire, il y a un an, une étude de sols par Antéa ; ces dossiers ne sont jamais parvenus dans les délais impartis de l'étude.

6 IDENTIFICATION ET PREVISION DES ALEAS SUR LE BASSIN DE LA FARE - VEDES

Le périmètre retenu pour les études techniques préliminaires au PPRM correspond à celui défini initialement des 5 anciens titres miniers de lignite de Coudoux, La Fare, Vèdes, Liquette et Bassan.

6.1 ALEAS REPERTORIES SUR LE SECTEUR D'ANALYSE

Les informations recueillies sur les désordres associés à l'exploitation minière des titres miniers concernés sont décrits avec précision dans les paragraphes précédents. Il convient de retenir :

En terme de mouvements de terrain (paragraphes 3.11 et 4.12 de la partie B) :

- quelques effondrements localisés de type fontis sont recensés. Ils sont liés à la présence de travaux miniers à faible profondeur ou d'ouvrages miniers débouchant en surface ;
- aucune fissure n'est apparue sur les bâtiments et infrastructures au droit des travaux souterrains ;
- aucun cas d'affaissement/tassement n'est relaté sur les concessions ;
- aucun effondrement généralisé à caractère brutal n'est signalé.

En terme de désordres liés aux dépôts de surface ou fronts de falaise (paragraphes 3.10 et 4.11 de la partie B) :

Aucun dépôt de stériles, de taille conséquente, n'a été recensé sur les concessions concernées. Les travaux souterrains ont été, pour partie, remblayés avec ces stériles.

De même, aucun front de falaises lié à l'exploitation minière n'a été recensé sur les concessions concernées.

En terme de gaz de mine (paragraphes 3.12 et 4.13 de la partie B) :

- l'examen des documents en notre possession a permis de mettre en évidence que les mines de lignite du bassin de La Fare - Vèdes n'étaient pas grisouteuses (aucune mention contraire n'a été retrouvée) ;
- la présence de H₂S dans les travaux souterrains a été identifiée lors du traitement du puits René (concession de Coudoux) ;
- la présence de feux souterrains, pendant l'exploitation souterraine dans certains quartiers, révèle une facilité du lignite à prendre spontanément feu en présence d'air. Ces conditions supposent la présence, au sein des travaux miniers, d'atmosphère désoxygénée et/ou chargée en gaz nocif. Cependant, aucun signe visible d'un échauffement actif récent en surface n'a été repéré ni recensé lors de l'enquête sur site (les zones oxydables se sont auto-emflammées dans le passé). De plus, la plupart des travaux est aujourd'hui noyée (oxydation impossible).

En terme d'environnement (paragraphes 3.13 et 4.14 de la partie B) :

La campagne de mesure au droit de points d'eau proches des travaux miniers étudiés n'a pas mis en évidence d'impact significatif lié aux eaux des anciennes mines. Impact d'autant moins important qu'une partie des eaux de surface du bassin de l'Arc est notée de mauvaise qualité par les autorités compétentes.

6.2 ALEAS « A ANALYSER » DANS LES ETUDES TECHNIQUES PRE-PPRM

A partir de l'ensemble des données de la phase informative et des désordres connus ou non-observés (rappelés dans le paragraphe précédent), un certain nombre d'aléas a été défini comme devant être analysé plus précisément :

- aléas « mouvements de terrain » comprenant les phénomènes d'effondrements localisés et généralisés, de tassement et d'affaissement ;
- aléa pollution des eaux souterraines et des eaux superficielles : les configurations hydrogéologiques sont variées d'un quartier à l'autre et leur fonctionnement est souvent mal connu. L'eau de mine ne présente pas d'anomalies susceptibles d'entraîner un impact majeur sur les eaux souterraines, mais la présence d'éléments typiques (fer, sulfates) peut entraîner une non-conformité avec, en particulier, la production d'eau potable ;
- aléa « gaz de mine » : pendant la période d'exploitation, des feux se sont développés entraînant probablement des dégagements de gaz (CO₂, CO, H...). Ainsi, en l'absence de données complémentaires et par mesure de sécurité, cet aléa a été retenu pour analyse.

Dès cette étape, notons que tout mouvement de terrains de type glissement de pente lié aux dépôts de stériles et de type chutes de blocs (relatifs aux fronts de falaises liés à l'exploitation minière) ne sera pas défini comme aléa mouvement de terrain possible sur les exploitations minières du bassin de La Fare - Vèdes.

De même l'aléa échauffement de terrils, improbable en l'absence de terrils, n'a pas été retenu. En revanche, le potentiels échauffement aux affleurements seront examinés.

De plus, les principales caractéristiques des quartiers miniers exploités sur les cinq concessions de la présente étude (faible extension de l'exploitation, situation hydrogéologique revenue à son état initial, absence de point d'exhaure précis, situation hydrologique localement « sèche » ...) permettent de ne pas retenir les parmi les phénomènes probables :

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

C) PHASE D'ALEA

La présente phase a pour but d'évaluer les aléas définis dans la phase informative précédente. Conformément à la méthodologie d'évaluation des aléas [5], l'analyse comprend pour chaque aléa :

- un découpage des travaux en zones homogènes, établi d'après les plans d'exploitation et l'analyse des configurations géologiques ou géomorphologiques ;
- une évaluation du niveau d'aléa par type de phénomène (ou désordre) attendu, compte tenu de leur intensité et de la prédisposition des zones homogènes considérées ;
- une cartographie des aléas au 1/10 000 (cartes en annexe).

Dans les paragraphes suivants cette analyse sera menée pour les aléas retenus comme pertinents sur le bassin de La Fare – Vèdes : les « mouvements de terrain », les « gaz de mine » et « l'environnement ».

A la phase précédente l'aléa échauffement de terrils avait d'ores et déjà été écarté (paragraphe 6.2 de la partie B) de la liste des aléas probables sur le site de La Fare – Vèdes.

On se reportera à l'annexe 3, pour les généralités relatives à la description des phénomènes ainsi qu'à la méthode d'évaluation de l'aléa associé (hors aléas environnementaux), issue du guide méthodologique relatif à l'élaboration des PPRM [5].

La cartographie réglementaire et le règlement du PPRM seront à définir ultérieurement dans un autre cadre que celui de la présente étude.

1 DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

Pour les mouvements de terrain, et conformément aux conclusions de la phase informative, trois types de phénomène doivent être analysés :

- l'effondrement généralisé ;
- l'effondrement localisé ;
- l'affaissement ;
- le tassement.

A la phase précédente les mouvements de terrains de type glissement de pente liés aux terrils et de type chutes de blocs (relatifs aux fronts de falaises liés à l'exploitation minière) avaient d'ores et déjà été écartés (paragraphe 6.2 de la partie B) de la liste des mouvements de terrains possibles sur le site de La Fare – Vèdes.

1.1 DEFINITIONS DE CONFIGURATIONS TYPES OU ZONES HOMOGENES

Il s'agit de définir, en fonction principalement de critères d'exploitation et de la géologie, des zones dont le comportement vis-à-vis de chacun des phénomènes de mouvement de terrain est similaire ou très proche. Cette sectorisation est présentée quartier exploité par quartier exploité sur les figures en annexe 3.

Il n'a pas été jugé nécessaire de définir une configuration type relative aux ouvrages miniers débouchant au jour. En effet, la plupart des ces ouvrages sont localisés au sein d'une des zones homogènes définies ci-après et l'analyse de ces ouvrages dans la prise en compte des phénomènes redoutés sera menée au cas par cas.

1.1.1 CONFIG. A : ZONES SUPPOSEES D'ANCIENS GRATTAGES SUB-AFFLEURANTS

Sont définies ici les secteurs où l'existence de descenderies, de galeries et TB tracés depuis les affleurements est supposée. Cette hypothèse s'appuie sur la présentation et la description de tels travaux dans les textes archivés mais ces zones n'ont jamais été reportées sur les plans des travaux retrouvés. Ces secteurs ont fait l'objet de travaux miniers au XVIII^{ème} siècle et jusqu'au début du XIX^{ème} siècle. Aucune trace ou vestige minier leur correspondant n'a été retrouvé lors des visites de sites.

Ces zones concernent une bande de terrains délimitée par l'affleurement de la bande de terrains fuvéliens digitalisé depuis la carte géologique informatisée du BRGM. Elles se localisent principalement sur les concessions de Vèdes, Bassan, et au nord de la concession de Coudoux et au nord du quartier des Auberges à proximité ou non des quartiers exploités connus (mentionnés sur plan).

1.1.2 CONFIG. B : ZONES SUPPOSEES DE CHAMBRES ET PILIERS

Sont définies ici les zones de travaux à l'intérieur desquelles l'existence de chambres et piliers abandonnés est fortement supposée. Elles correspondent à des exploitations anciennes décrites comme « dépilages »¹³ dans les textes ; mais il semble raisonnable de penser que la méthode consistait plutôt à abandonner les piliers, tels quels, en laissant des vides résiduels conséquents. Ce type de travaux a pu être réalisé jusqu'à la première moitié du XIX^{ème}. Ces zones sont mentionnées sur de nombreux plans d'archives par l'annotation « anciens travaux », généralement non reconnus et non levés.

Ces zones concernent uniquement une partie des travaux miniers des quartiers de Daurenque et des Estiennes sur la concession de Vèdes.

Faute de données précises, sont aussi associés à cette configuration les travaux menés entre 1877 et 1883 au quartier Saint-Hilaire (voir paragraphe 4.7.2 de la partie B) de la concession de Coudoux. En effet, l'existence de chambres et piliers abandonnés et de vides résiduels y est probable.

¹³ Le terme de dépilage désigne, dans les vieux écrits de la région, l'extraction du minerai et non forcément le foudroyage des terrains de recouvrement immédiats.

1.1.3 CONFIG. C : ZONES AVEREES DE GALERIES FILANTES

Il s'agit de secteurs où les plans de travaux ne révèlent que le traçage de galeries. Elles peuvent correspondre à des recherches menées depuis les affleurements mais elles peuvent aussi concerner des zones plus profondes et avoir été tracé dans l'optique de définir l'étendue du gisement ou de préparer une exploitation future qui n'a jamais eu lieu.

Ces zones concernent l'intégralité des travaux miniers des quartiers Villecroze, des Lagets, de la descenderie de Liquette et du puits de Vèdes et toutes les galeries isolées de tous les quartiers exploités sur ces 5 concessions.

1.1.4 CONFIG. D : ZONES AVEREES DE CHAMBRE ET PILIERS OU DE CHAMBRE AU PENDAGE

Sont concernées ici les secteurs où les plans de travaux disponibles révèlent l'existence de chambres et piliers abandonnés ou de chambres au pendage.

Les zones de chambre et piliers concernent uniquement une partie des travaux des quartiers de Daurenque et des Estiennes sur la concession de Vèdes. Les chambres au pendage ont été retrouvées sur les plans des quartiers de l'Intendant et du Braou sur les concessions de Vèdes et de Bassan.

1.1.5 CONFIG. E : ZONES DE TAILLES MONTANTES

Sont concernés ici les secteurs où les plans de travaux disponibles révèlent l'existence de zones exploitées par la méthode de taille montantes. Il pourra être utile d'y distinguer les zones exploitées avant 1933 (config.E.1) de celles exploitées après 1940 (config.E.2), en effet, dans les premières les remblais étaient déposés par voie sèche alors que dans les secondes cette opération s'effectuait probablement hydrauliquement (remblai + liant).

Ces zones concernent uniquement les travaux des quartiers des Auberges, Saint-Michel et Saint-Hilaire sur les concessions de La Fare et de Coudoux.

1.2 ANALYSE DU PHENOMENE D'EFFONDREMENT GENERALISE

L'effondrement en masse correspond une remobilisation franche et soudaine des terrains de surface résultant de la rupture simultanée et brutale de l'ensemble « piliers + recouvrement ».

Compte tenu, entre autres, d'un schéma d'exploitation de chambres et piliers abandonnés, cet aléa doit être pris en compte ici.

1.2.1 PREDISPOSITION

Aucun phénomène de ce type n'a jamais été constaté sur le territoire concerné par les titres miniers du bassin de La Fare – Vèdes. Seul est recensé l'accident du Rocher Bleu (assimilé à un effondrement d'ampleur) survenu le 29 avril 1879 sur la concession HBCM de Grande Concession (C3) à environ 12 km au nord-ouest des concessions de Vèdes et Bassan au centre du champs d'exploitation des HBCM. Ces travaux miniers sont sensiblement différents de ceux des concessions de Vèdes, Bassan et Liquette, de par notamment, leur profondeur importante (de l'ordre de 150-200 m) qui a joué sur la stabilité à long terme des piliers.

1.2.1.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

Sur ces concessions les seuls travaux concernés par un effondrement brutal potentiel sont les secteurs exploités par une méthode partielle. Elles concernent 4 secteurs dans les quartiers des Estiennes et de Daurenque (2 zones de config. B et 2 zones de config. D). En effet, tous les autres secteurs (config. A ou C) peuvent être écartés de tout effondrement potentiel car ils ne sont pas concernés par une exploitation partielle qui est une condition nécessaire à la réalisation d'un effondrement brutal.

Dans le cadre géologique local des exploitations de Vèdes, la géologie est notamment marquée par de nombreuses failles et autres accidents tectoniques, qui ont toujours limité l'étendue des travaux miniers et ont fait décrire ce gisement comme « *haché* » ou « *très tourmenté* » (voir paragraphe 3.3 de la partie B).

De plus, les travaux miniers concernés présentent une nature hétérogène et irrégulière (dimensionnement des exploitations partielles, taille des piliers, orientation des galeries...), voir Figure 13, peu compatible avec la réalisation d'un effondrement généralisé.

Par ailleurs, la faible profondeur estimée des travaux (5 à 60 m) limite l'élanement des piliers et accroît leur pérennité à long terme.

Ainsi, les facteurs principaux nécessaires à l'apparition d'un effondrement généralisé ne sont pas réunis sur les secteurs de travaux des concessions de Vèdes, Bassan et Liquette.

Tout effondrement généralisé potentiel peut donc être écarté de l'ensemble des travaux des concessions de Vèdes, Bassan et Liquette.

1.2.1.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Les données géologiques récoltées mettent en évidence l'absence totale de banc raide dans les terrains de recouvrement des deux quartiers exploités sur ces concessions. Cette particularité tient principalement de la localisation des exploitations dans les terrains alluvionnaires de l'Arc.

De plus, les seuls quartiers exploités l'ont été par une méthode de tailles montantes remblayées (config. E), méthode d'exploitation totale incompatible avec la réalisation d'un effondrement généralisé.

Ainsi, compte tenu des éléments précédents, l'effondrement généralisé n'est pas retenu sur les concessions de La Fare et de Coudoux comme un phénomène probable.

1.2.2 NIVEAUX D'ALEA

Tout effondrement généralisé potentiel est donc écarté de l'ensemble des travaux miniers des 5 concessions de Vèdes, Bassan, Liquette, Coudoux et La Fare. Aucune cartographie ne sera définie pour ce phénomène.

1.3 ANALYSE DU PHENOMENE D'EFFONDREMENT LOCALISE

Un effondrement localisé correspond à une rupture des terrains qui ne concerne qu'une zone d'extension limitée en surface (quelques mètres). voir annexe 2.

Généralement, il est classique de distinguer, selon les mécanismes initiateurs :

- l'effondrement localisé lié aux galeries isolées ou descenderies isolées (par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie) ;
- l'effondrement localisé lié aux zones d'exploitations (par rupture de pilier(s) isolé(s)) ;
- l'effondrement localisé par débouillage de puits ou rupture de la tête de puits.

1.3.1 PREDISPOSITION

1.3.1.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

1.3.1.1.1 CONFIG. A

Ces secteurs (terrains fuvéliens affleurants) correspondent plus à une configuration géologique favorable à la réalisation de travaux miniers d'exploration qu'à une existence avérée de zones minières. Certes, des textes mentionnent des « grattages aux affleurements » réalisés dans les années 1830-1850, mais aucune preuve concrète de ces travaux n'a été retrouvée sur le terrain, malgré deux campagnes de terrain précises. En outre, aucun désordre n'a été retrouvé dans ces zones. Ainsi, il est fort probable que l'ensemble de ces grattages aient été menés en des lieux repris par des exploitations postérieures.

La probabilité de rencontrer des ouvrages miniers (puits ou galeries isolées) dans ces secteurs est très faible ; celle d'y rencontrer des zones d'exploitations est quasi-nulle.

Compte tenu de ces informations, ces secteurs ne seront pas définis en terme de sensibilité relativement aux effondrements localisés. Un report géographique sera néanmoins réalisé mais dans une optique de conservation de la mémoire minière et non d'aléa.

1.3.1.1.2 CONFIG. C

Ont été regroupées dans cette configuration toutes les galeries ou descenderies isolées. Sur les concessions de Vèdes, Bassan et Liquette les ouvrages de cette configuration qui débouchent en surface n'ont jamais été mis en sécurité et certains sont encore ouverts.

Notons que les deux galeries-tranchées d'exhaure du quartier des Estiennes ne sont pas concernées par les effondrements localisés (dimensions restreintes)

Dans cette configuration, le mécanisme de rupture envisageable est la rupture du toit d'une excavation, l'évaluation de la prédisposition aux effondrements localisés dépend classiquement des paramètres suivants :

- **le volume de vides disponibles au sein des travaux souterrains.** L'ensemble des galeries concernées par cette configuration servait bien souvent de voies de roulage, d'aérage, de circulation ou encore d'exploration. Il n'y a donc aucune raison technique à ce qu'elles aient été remblayées, aucune archive ne mentionne d'ailleurs cette opération. Au contraire il est fort probable qu'elles aient été consolidées pour en faciliter l'utilisation. De plus, la phase informative réalisée a permis de révéler l'existence de quelques cas de fontis survenus au droit de galeries isolées VD1, BD2 et BD3 (voir tableau de désordres paragraphe 3.11 de la partie B). Ainsi, la présence de vides résiduels au sein de ces travaux souterrains est très probable voir certaine.
- **la nature et la résistance mécanique de terrains des couches de minerai, du toit et du recouvrement.** Les données dont nous disposons ne nous permettent pas de déterminer très précisément ces caractéristiques. A l'échelle des concessions, ont été retenus les points suivants :
 - les terrains de recouvrement sont constitués par les bancs calcaires gris-bleus du Fuvélien qui présentent la particularité d'être plus fissurés et moins compacts que ceux du bassin de Provence en raison des nombreux mouvements géologiques à l'origine de la formation du lambeau de Vèdes. Il est donc probable que ces calcaires présentent des caractéristiques géomécaniques moins bonnes que celles établies ailleurs plus au centre du bassin de Provence (Tableau 1 et Tableau 2 à la page 27) ;
 - dans ces secteurs, au centre des vallées, les terrains de lignite peuvent être recouverts par un horizon « alluvial » de quelques mètres d'épaisseur et peu cohérent formé de marnes et de graviers compactés ;
 - dans certains cas, les terrains de lignite exploités proche de la surface ont été broyés (charriage) ;
 - les seuls horizons de lignite « protégés » par un horizon calcaire « résistant » ont été trouvés profondément (100 m au puits de Vèdes).

Ainsi, compte tenu des effondrements localisés connus, les hypothèses suivantes semblent vraisemblables et seront retenues par la suite :

- une montée de voûte est envisageable ;
- il n'existe aucun horizon rocheux suffisamment épais et résistant pour arrêter une montée de voûte.

Dans ce cas, le seul mécanisme capable de s'opposer à la remontée d'un fontis en surface est l'auto-comblement par foisonnement des éboulis.

- ***l'épaisseur des terrains de recouvrement.*** Le nombre « restreint » de désordres 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.

Pour étudier ce mécanisme, 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'éboulement¹⁴. Cet outil a été appliqué aux conditions de site retenues (tableau ci-après).

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)

Les valeurs du coefficient de foisonnement retenues sont issues de la classification R.T.R.¹⁵ pour les terrains marno-calcaires.

Les résultats des hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de galeries sont synthétisés ci-après ; ils indiquent qu'on ne peut exclure la possibilité d'apparition d'un fontis au droit d'une galerie dont la profondeur est inférieure à 42 m.

Hypothèses	Hauteur des vides (m)	Largeur des vides (m)	Angle de parement (°)	Rayon de remontée de fontis (m)	Angle de talus naturel (°)	Coefficient de foisonnement*	Hauteur de remontée de fontis (m)
A1	2	2	90	1	35	1,3	19,9
A2	2	2	90	0,8	35	1,3	28,3
B1	2	2,8	90	1,4	35	1,3	16,3
B2	2	2,8	90	1,15	35	1,3	21,7
C1	2,5	2	90	1	35	1,3	28,7
C2	2,5	2	90	0,8	35	1,3	41,4
D1	2,5	2,8	90	1,4	35	1,3	23,2
D2	2,5	2,8	90	1,15	35	1,3	31,3

Tableau 18 : Simulation des hauteurs de remontée de voûte dans le phénomène d'effondrement localisé en config. C

*valeur faible qui s'explique par la présence supposée d'eau au sein de la majeure partie des travaux

Compte tenu des résultats de l'étude paramétrique précédente, des quelques retours d'expérience d'effondrements localisés et des facteurs défavorables, vis-à-vis de l'auto-comblement d'un fontis, tels que le pendage moyen des galeries (le matériau éboulé du toit étant susceptible de se répandre en aval de la galerie) :

¹⁴ Voir Mémoire de DEA de l'Ecole Centrale de Paris. R. Salmon. INERIS. 1998.

¹⁵ Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC. 1976.

- une galerie ou descenderie de config. C située entre 0 et 30 m de profondeur est définie comme sensible aux effondrements localisés ;
- une galerie ou descenderie de config. C située entre 30 et 40 m de profondeur est définie comme peu sensible aux effondrements localisés ;
- au-delà de 40 m de profondeur, le risque de remontée de fontis en surface peut être écarté, des phénomènes de tassements différentiels sont néanmoins susceptibles d'affecter les terrains de surface à l'aplomb des cloches de fontis autocomblées par exemple. Ils sont traités dans le cadre de l'aléa tassement, de manière distincte.

1.3.1.1.3 CONFIG. B ET D

Sont concernées ici les zones d'exploitation partielles avérées (Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant et de Braou) ou supposées (Quartiers des Estiennes et de Daurenque),

Les mécanismes de rupture envisageables sont la rupture du toit d'une excavation et/ou la rupture d'un pilier isolé.

Comme précédemment ont été analysés :

- **le volume de vides disponibles au sein des travaux souterrains.** D'après la phase informative, les vides résiduels liés aux travaux cette configuration peuvent être de plusieurs ordres :
 - vides francs liés aux voies d'infrastructure ou couloirs d'aérage ;
 - vides francs liés à la méthode des chambres et piliers ou des chambres au pendage dont il n'est jamais mentionné le remblayage.

De plus, un désordre, sans doute la conséquence d'une cloche de fontis affleurant en surface, a été recensé (BD1) sur les travaux de config. D au quartier des Estiennes ; la présence de vide souterrain est donc possible sur l'ensemble de ces zones d'exploitation. En outre, localement il est probable que des parties d'exploitations des secteurs de config. D aient été menées sur 2 niveaux (sans localisation exacte).

Toutefois, compte tenu des plans de travaux miniers (voir paragraphe 1.1.2 de cette partie), il semble logique de considérer que la probabilité de trouver des vides résiduels est plus importante au sein des travaux de config. D que dans ceux de config. B.

- **la nature et la résistance mécanique de terrains des couches de minerai, du toit et du recouvrement.** Les mêmes conclusions qu'au paragraphe précédent peuvent être formulées ici. Notons en outre, qu'aucune donnée n'a été retrouvée sur la qualité des piliers résiduels. Certains plans de travaux présentent des piliers, semble-il, très hétérogènes et « dégraissés abusivement ».
- **l'épaisseur des terrains de recouvrement.** Concernant les galeries d'infrastructures potentiellement vides au sein des travaux de config. B et D, le même raisonnement que celui mené au paragraphe précédent conduirait à écarter les effondrements localisés de tous les travaux miniers de ces deux configurations situés à plus de 40 m de profondeur.

L'outil développé par l'INERIS permet aussi de simuler un fontis initié au carrefour de chambres vides.

Les résultats des hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de chambres d'exploitations sont synthétisés ci-après.

Hypothèses	Hauteur des vides (m)	Largeur des vides (m)	Angle de parement (°)	Rayon de remontée de fontis (m)	Angle de talus naturel (°)	Coefficient de foisonnement	Hauteur de remontée de fontis (m)
a1	2	2	90	1,4	35	1,3	20,4
a2	2	2	90	1,1	35	1,3	28,4
b1	2	5	90	3,5	35	1,3	12,2
b2	2	5	90	2,8	35	1,3	14,8
c1	2,8	2	90	1,4	35	1,3	36,26
c2	2,8	2	90	1,1	35	1,3	52,2*
d1	2,8	5	90	3,5	35	1,3	20,1
d2	2,8	5	90	2,8	35	1,3	25,6

Tableau 19 : Simulation des hauteurs de remontée de voûte dans le phénomène d'effondrement localisé en config. B ou D (concessions de Vèdes, Bassan et Liquette)

*Notons que l'hypothèse de travail c2 correspond aux limites d'application de l'outil de simulation et à une situation trop sécuritaire, les résultats obtenus de hauteur de remontées de cloches ne sont pas concevables dans les contextes d'exploitation concernés ici.

Compte tenu de ces données :

- toute zone de config. B située entre 0 et 35 m de profondeur est définie comme peu sensible aux effondrements localisés et entre 35 et 50 m de profondeur comme très peu sensible ;
- toute zone de config. D située entre 0 et 35 m de profondeur est définie comme sensible aux effondrements localisés et entre 35 et 50 m de profondeur comme peu sensible ;
- au-delà de 50 m de profondeur, le risque de remontée de fontis en surface peut être écarté.

1.3.1.1.4 CONFIG. E

Aucun travaux de cette configuration n'a été identifié sur les concessions de Bassan, Vèdes ou Liquette.

1.3.1.1.5 PUIES

11 puits ou cheminées ont été recensés et/ou repérés sur les concessions de Bassan, Vèdes ou Liquette (voir tableaux du paragraphe 4.9 de la partie B), on distingue :

- les « puits » de type 1 (non retrouvés) : une grande partie n'a pas été retrouvée sur le terrain (comblés, végétalisés...), et leur mode de mise en

sécurité potentiel n'est pas connu avec précision (BG3, BG5, BG8, VG10, VG 11, VG6 et VP7) ;

- les « puits » de type 2 (« traités ») : la cheminée Pæcau a été « simplement » remblayée récemment par les propriétaires (elle était simplement grillagée lors de l'étude scanning du site et elle était remblayée lors de la dernière campagne de terrain) ;
- les puits de type 3 (« ouverts ») : le puits de Vèdes VP6 et la cheminée d'aération VP8 sont ouverts mais protégés par des margelles en pierre de 1,8 m de haut. Le puits de Vèdes est toutefois en bon état et il présente une colonne maçonnée.

Aucun aléa n'a été retenu sur le puits en projet VP5 qui selon toute vraisemblance n'a pas été foncé. Néanmoins, sa position projetée a toutefois été conservée pour mémoire.

L'historique des sites ne mentionne pas l'existence de débouillage de puits et d'effondrements de tête de puits.

Compte tenu de ces informations, les prédispositions suivantes des puits aux effondrements localisés ont été définies :

- sensible pour les puits de type 1 (c'est-à-dire les puits pour lesquels on ne dispose d'aucune information quant à leur traitement éventuel) et la cheminée ouverte VP8 ;
- peu sensible pour le puits de type 2 (pour ce puits remblayé, la prédisposition au débouillage ne peut être écartée).

1.3.1.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

1.3.1.2.1 CONFIG. A

Le même raisonnement que celui mené sur les concessions précédentes dans la même configuration A peut être réalisé ici.

Toutefois sur le quartier de Saint-Hilaire, l'existence de désordres en dehors de limite de travaux connus mais à l'intérieur de la zone de config. A engendre une suspicion de vides résiduels supplémentaires.

Compte tenu de ces informations, les prédispositions aux effondrements localisés suivantes ont été retenues :

- peu sensibles, pour les secteurs de config. A du quartier Saint-Hilaire ;
- non sensible, pour les secteurs de config. A du quartier des Auberges. Un report géographique sera néanmoins réalisé mais dans une optique de conservation de la mémoire minière et non d'aléa.

1.3.1.2.2 CONFIG. B ET D

Aucune zone de travaux de ces configurations n'a été identifiée sur les concessions de La Fare ou Coudoux.

1.3.1.2.3 CONFIG. C

Sur ces concessions les ouvrages de config. C sont de 2 natures :

- les galeries d'infrastructures et les voies en tête des chantiers de taille montantes (catégorie 1) ;
- les descenderies tracées depuis la surface (catégorie 2).

Galeries de catégorie 1

L'évaluation de la prédisposition aux effondrements localisés dépend des paramètres suivants :

- **le volume de vides disponibles au sein des travaux souterrains.** L'ensemble des galeries concernées par cette configuration servait bien souvent de voies de roulage et d'aérage. Aucune archive ne mentionne la réalisation d'opération de remblayage. Au contraire, de vieux mineurs ont confirmé que ces galeries ont été abandonnées non remblayées. Ainsi, la présence de vides résiduels au sein de ces travaux souterrains est très probable.
- **la nature et la résistance mécanique de terrains des couches de minerais, du toit et du recouvrement.** Les données dont nous disposons ne nous permettent pas de déterminer très précisément ces caractéristiques. A l'échelle des concessions, ont été retenus les points suivants :

- terrains de recouvrement sont principalement constitués de calcaires grossiers ou de marnes sableuses ;
- un horizon parfois important de dépôt d'alluvions fluviatiles (de l'Arc) constitués de sables, graviers, limons argileux ;

Ainsi, malgré l'absence d'effondrement localisé connu dans ces secteurs, les hypothèses suivantes semblent vraisemblables et seront retenues par la suite :

- une montée de voûte est envisageable ;
 - il n'existe aucun horizon rocheux suffisamment épais et résistant pour arrêter une montée de voûte.
- **l'épaisseur des terrains de recouvrement.** L'outil d'évaluation de remontée de voûte de l'INERIS a une nouvelle fois été appliqué aux conditions de site retenues (tableau ci-dessous).

Dans ces calculs, le diamètre du fontis au toit de la galerie varie de 0,8 à 1 fois la largeur de la galerie. Le coefficient de foisonnement varie de 1,2 à 1,3 et l'angle naturel de 30° et 35° pour caractériser des « *marnes calcaires et des sables* » et tenir compte, entre autres, de la présence d'eau dans les travaux.

Les résultats des hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de galeries sont synthétisés ci-après ; ils indiquent qu'on ne peut exclure la possibilité d'apparition d'un fontis au droit d'une galerie dont la profondeur est inférieure à 50 m.

Hypothèses	Hauteur des vides (m)	Largeur des vides (m)	Angle de parement (°)	Rayon de remontée de fontis (m)	Angle de talus naturel (°)	Coefficient de foisonnement	Hauteur de remontée de fontis (m)
E1	2	2	90	1	30	1,2	33,8
E2	2	2	90	1	30	1,3	22,5
F1	2	2	90	1	35	1,2	29,8
F2	2	2	90	1	35	1,3	19,9
G1	2	2	90	0,8	30	1,2	48,6
G2	2	2	90	0,8	30	1,3	32,4
H1	2	2	90	0,8	35	1,2	42,8
H2	2	2	90	0,8	35	1,3	28,2

Tableau 20 : Simulation des hauteurs de remontée de voûte dans le phénomène d'effondrement localisé en config. C

Compte tenu des résultats de l'étude paramétrique précédente et des facteurs défavorables, vis-à-vis de l'auto-comblement d'un fontis, tels que le pendage moyen des galeries (le matériau éboulé du toit étant susceptible de se répandre en aval de la galerie) et la présence d'eau :

- une galerie ou descenderie de config. C située entre 0 et 35 m de profondeur est définie comme sensible aux effondrements localisés ;
- une galerie ou descenderie de config. C située entre 35 et 50 m de profondeur est définie comme peu sensible aux effondrements localisés ;
- au-delà de 50 m de profondeur, le risque de remontée de fontis en surface peut être écarté, des phénomènes de tassements différentiels sont néanmoins susceptibles d'affecter les terrains de surface à l'aplomb des cloches de fontis autocomblées par exemple. Ils sont traités dans le cadre de l'aléa tassement de manière distincte.

Descenderies de catégorie 2

Contrairement aux concessions de Vèdes, Bassan et Liquette ces ouvrages ont, sur les concessions de La Fare et de Coudoux, fait l'objet de travaux de mise en sécurité récents, un degré d'analyse plus fine leur sera portée.

Sont concernées les descenderies Saint-Michel (FG1), des Auberges (FG2), Saint-Hilaire (CG2), de la piscine (CG3) et de l'Abondance (CG6).

- descenderie des Auberges. Elle est très probablement non remblayée et sa profondeur maximale n'excède pas 25 m (premier niveau exploité). Elle sera considérée sur toute sa longueur comme une galerie de config. C (sensible aux effondrements localisés).
- descenderie Saint-Michel. Elle est équipée d'un bouchon auto-bloquant et elle est remblayée pneumatiquement sur les 36 premiers mètres avec un mélange de sable fin et gravier (non remblayée au-delà du bouchon et probablement non remblayée sous l'autoroute A8).

Compte tenu de la pente moyenne de la descenderie (19°) depuis son entrée à la cote 67,5 m NGF, les profondeurs de cet ouvrage sont de :

- 10 m à 12 m, au niveau du bouchon auto-bloquant (à 36 m de l'entrée de la descenderie dans le plan de celle-ci) ;
- 50 m, sous l'autoroute (à environ 200 m horizontalement de l'entrée de la descenderie) ;
- environ 60 m au niveau des premières galeries d'exploitation (estimation réalisée à partir des côtes lues sur les plans) ;

Les caractéristiques du site conduisent à une hauteur maximale de remontée de cloche voisine de 70 m (Tableau 21). Cette approche est basée sur le non-écoulement des matériaux éboulés dans la descenderie. Or cette hypothèse n'est pas vérifiée pour la partie non remblayée de la descenderie au-delà du bouchon qui présente une pente de 19° à 20° et qui est le siège de circulation d'eau. Ceci conduit très vraisemblablement à majorer les hauteurs suivantes.

Hypothèse	Largeur galerie (m)	Hauteur galerie (m)	Rayon du fontis au toit galerie (m)	Angle de talus naturel (°)	Coefficient de foisonnement*	Hauteur de remontée de cloche (m)
J1	2	2,6	1	35	1,3	27
J2	2	2,6	1	35	1,2	40
J3	2	2,6	1	30	1,3	31
J4	2	2,6	1	30	1,2	46
K1	2	2,6	0,8	35	1,3	40
K2	2	2,6	0,8	35	1,2	59**
K3	2	2,6	0,8	30	1,3	46
K4	2	2,6	0,8	30	1,2	69**

Tableau 21 : Hauteur de remontée de cloche d'effondrement au droit de la descenderie Saint-Michel

*valeur faible qui s'explique par la présence avérée d'eau au sein de la majeure partie des travaux.

** Notons que les hypothèses de travail K2 et K4 correspondent aux limites d'application de l'outil de simulation et à une situation trop sécuritaire, les résultats obtenus de hauteur de remontées de cloches ne sont pas concevables dans les contextes d'exploitation concernés ici.

Compte tenu de ces informations, les 36 premiers mètres ne seront pas soumis aux phénomènes d'effondrements localisés (bouchon).

En revanche, sur la partie de la descenderie au-delà du bouchon on distingue :

- la zone située à moins de 45 m de profondeur qui sera définie comme sensible aux effondrements localisés ;
- la zone située entre 45 m de profondeur et les premiers niveaux d'exploitation à environ 60 m de profondeur comme très peu sensible à peu sensible aux effondrements localisés :

- l'effondrement localisé n'est plus retenu à partir de 60 m de profondeur.

Notons que ce résultat va à l'encontre d'une des conclusions du rapport cité en référence ici [10] qui assurait qu'aucune remontée de fontis au-delà de 25 m de profondeur n'était possible.

- descenderie de Saint-Hilaire. Elle est voûtée avec un parement en pierre et atteint la profondeur de 90 m, elle a été remblayée au $\frac{3}{4}$ de sa hauteur en 1934 et n'a pas été mise en sécurité en 2002. Sans information complémentaire (nature des remblais, méthode de remblayage, fermeture des galeries d'exploitation...) et de sa pente importante (39°), elle est définie comme sensible aux effondrements localisés entre 0 et 45 m de profondeur et comme très peu sensible à peu sensible entre 45 et 60 m de profondeur (non retenu au-delà) ;
- descenderie de la Piscine. Cette descenderie, pentée à 25° puis 40°, dessert un premier niveau à 25 m de profondeur et un second niveau à environ 60 m de profondeur. Les travaux réalisés en 2002 [8] sur cet ouvrage ont consisté à fermer les accès aux chambres d'exploitation desservies par cette descenderie (murs) et à consolider le toit de l'une de ces chambres d'exploitation avec un pilier bétonné située au droit d'une habitation. La descenderie n'a pas été remblayée et l'accès y a été conservé pour rejoindre une pompe installée par le propriétaire. Compte tenu de ces informations, les mêmes gradations de prédisposition aux effondrements localisés appliquées aux descenderies précédente peuvent être retenues ici ;
- descenderie de l'Abondance. Lors de travaux de 2002 [8] cet ouvrage fortement penté (45°) s'était éboulé à environ 20 m de son orifice. Aucune information n'avait été retrouvée concernant un éventuel remblayage. Environ 80 m³ de remblais ont été déversés gravitairement entre l'éboulement et la surface. Compte tenu de ces données :
 - les 20 premiers mètres de la descenderie seront définis comme peu sensible aux effondrements localisés ;
 - la partie située à moins de 45 m de profondeur sera définie comme sensible aux effondrements localisés ;
 - la zone située entre 45 m et 60 m de profondeur sera définie comme très peu sensible à peu sensible aux effondrements localisés ;
 - l'effondrement localisé n'est plus retenu à partir de 60 m de profondeur..

1.3.1.2.4 CONFIG. E

Cette configuration ne comprend que les panneaux notés comme exploités par tailles montantes remblayées.

L'évaluation de la prédisposition aux effondrements localisés dépend des facteurs suivants :

- **le volume de vides disponibles au sein des travaux souterrains.** Les vides résiduels potentiels dans ces zones peuvent être de plusieurs ordres :
 - vides liés à un remblayage partiel des travaux (la taille, la plus proche de la surface, n'était souvent pas comblée, voir paragraphe précédent) ;

- vides francs liés aux voies de roulage ou couloirs d'aérage incluses dans ces zones ;
- vides proches de la surface liés (au sein des voies de tête) à un écoulement de produits de comblement vers des vides plus profonds compte tenu de la pente des chantiers généralement supérieure à 25°.

La présence de vide souterrain est donc possible sur l'ensemble des zones de travaux mais elle semble se limiter aux galeries d'infrastructures et aux voies de tête notées sur les plans. La qualité de ces plans permet d'avancer que l'intégralité des voies d'infrastructures y est notée. La probabilité de rencontrer des galeries au sein des chantiers notés comme dépilés est donc très faible.

- **la nature et la résistance mécanique de terrains des couches de minéral, du toit et du recouvrement.** Comme précédemment sont retenues les hypothèses :
 - une montée de voûte est envisageable ;
 - il n'existe aucun horizon rocheux suffisamment épais et résistant pour arrêter une montée de voûte.
- **l'épaisseur des terrains de recouvrement.** Il est possible d'appliquer ici les résultats donnés par les calculs précédents (config. C et Tableau 20) qui conduisent à exclure toute apparition d'un fontis au droit de vides dont la profondeur est supérieure à 50 m.

Compte tenu des ces données :

- les voies de tête des chantiers de config. E et les galeries d'infrastructures notées sur les plans se trouvant à moins de 35 m de profondeur sont définies comme sensibles aux effondrements localisés ;
- les voie de tête des chantiers de config. E et les galeries d'infrastructures notées sur les plans se trouvant entre 35 et 50 m de profondeur sont définies comme peu sensibles aux effondrements localisés ;
- les zones notées comme exploitées sur les plans par taille montantes remblayées ne sont pas définies vis-à-vis de l'aléa effondrement localisé. Leur partie à moins de 50 m de profondeur sera néanmoins affichée dans une optique de conservation de la mémoire minière.
- toute zone de travaux située à plus de 50 m n'est pas retenue comme sensible aux effondrements localisés ;

1.3.1.2.5 PUIES

6 puits ou cheminées ont été recensés et/ou repérés sur les concessions de Bassan, Vèdes ou Liquette (voir tableaux du paragraphe 4.9 de la partie B), sont distingués :

- les « puits » de type 1 (non retrouvés) : leur mode de mise en sécurité potentiel n'est pas connu avec précision (FP1, CG1 et CG5).
- les « puits » de type 2 (« traités ») : leur mode de mise en sécurité est connu :

- puits des Auberges et puits Saint-Michel n°1 (FP2 et FP 3) : ces puits sont remblayés sur toute leur hauteur mais les recettes n'ont pas été obturées. De l'eau a envahi leur colonne jusqu'en surface. Ils ne sont pas équipés d'un bouchon auto-bloquant mais de dalles en béton (dalle carrée ferrillée et bétonnée de 30 cm d'épaisseur et de 6 x 6 m de section) ;
- puits René, un bouchon en béton de 5m de haut a été coulé en 2002 à 24 m de profondeur (100 m³ de béton) et un complément de remblayage a été réalisé avec 380m³ de matériau tout venant. Le traitement des recettes n'est pas connu.

L'historique des sites ne mentionne pas explicitement l'existence de débouillage de puits et d'effondrements de tête de puits en revanche, l'entretien des puits est noté comme difficile en raison des nombreuses venues d'eau et de la présence d'alluvions « *non consolidés* » dans les couches subsurfaciques, qualifiés de « *points de faiblesse* » des puits.

Compte tenu de ces informations, les prédispositions des puits aux effondrements localisés suivantes ont été définies :

- sensible pour les puits de type 1 ;
- peu sensible pour les puits de type 2.

1.3.2 INTENSITE

1.3.2.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

Dans le cas des exploitations de lignite de ces concessions, les « fontis » ou cônes d'effondrements localisés recensés, présentent des dimensions généralement faibles (2 m de large pour des profondeurs comprises entre 0,2 m et 1 m). Ces désordres concernent tous des fontis au droit de galeries isolées.

Compte tenu de ces informations et des valeurs seuils fournies dans le « guide PPRM » [5], une intensité « limitée » est retenue pour les effondrements localisés sur les travaux de config. B ou C et les puits des trois concessions concernés (dont les dimensions sont du même ordre de grandeur que les désordres redoutés).

Une exception est retenue pour les travaux de config. D qui présente des ouvertures et des largeurs de vides potentiels plus importantes que les précédents. Ces secteurs seront définis en intensité « modérée ».

1.3.2.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Les dimensions des puits de ces deux concessions et les caractéristiques des deux effondrements localisés recensés sont du même ordre de grandeur (environ 2 m de large). Ainsi, une intensité « limitée » est retenue pour tous les effondrements localisés quels que soient leurs mécanismes initiateurs et sur l'ensemble de configurations de travaux de ces concessions.

1.3.3 NIVEAUX D'ALEA

La caractérisation de l'aléa lié aux effondrements repose sur le croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec la prédisposition d'une configuration de

travaux donnée à ce que ce type de phénomène se produise. Les niveaux retenus sont définis dans les tableaux ci-après.

Configurations de travaux	Quartiers	Prédisposition	Intensité	Niveaux d'aléa
Config. A	Tous quartiers	Pas sensible	Limitée	Non retenu (mais cartographié pour mémoire)
Config. B < 35 m de prof	Quartiers des Estiennes et de Daurenque	Peu sensible	Limitée	Faible
Config. B entre 35 m et 50 m de prof	Quartiers des Estiennes et de Daurenque	Très peu sensible	Limitée	Faible
Config. B > 50 m de prof	Quartiers des Estiennes et de Daurenque	Non retenu	Non retenu	Non retenu
Config. C < 30 m de prof	Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant, des Lagets, de la descenderie de Liquette, de Villecroze et de Braou	Sensible	Limitée	Moyen
Config. C entre 30 m et 40 m de prof	Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant, des Lagets, de la descenderie de Liquette, de Villecroze et de Braou	Peu Sensible	Limitée	Faible
Config. C > 40 m de prof	Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant, du puits de Vèdes et de Braou	Non retenu	Non retenu	Non retenu
Config. D < 35 m de prof	Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant et de Braou	Sensible	Modérée	Moyen
Config. D entre 35 m et 50 m de prof	Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant et de Braou	Peu sensible	Modérée	Faible
Config. D > 50 m de prof	Quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l'Intendant et de Braou	Non retenu	Non retenu	Non retenu
Puits de type 1 (BG3, BG5, BG8, VG10, VG11, VG6 et VP7) Cheminée ouverte VP8 et puits de Vèdes VP6	-	Sensible	Limitée	Moyen
Cheminée Pascau	-	Peu sensible	Limitée	Faible

Tableau 22 : Niveaux d'aléa mouvement de terrain liés aux effondrements localisés sur les travaux des concessions de Vèdes, Bassan et Liquette

Configurations de travaux	Quartiers / zones	Prédisposition	Intensité	Niveaux d'aléa
Config. A	Quartiers des Auberges et Saint-Michel	Pas sensible	Limitée	Non retenu (mais cartographié pour mémoire)
	Quartier Saint-Hilaire	Peu sensible	Limitée	Faible
Config. C (galeries d'infra limitant les panneaux) Config. E (voies de têtes des chantiers)	galeries < 45 m de prof (tous quartiers)	Sensible	Limitée	Moyen
	galeries entre 45 et 60 m de prof (tous quartiers)	Très peu sensible à sensible	Limitée	Faible
	galeries > 60 m de prof	Non retenue	Non retenue	Non retenue
Config. C, descenderie Saint-Michel (FG1)	36 premiers mètres	Non retenue	Non retenue	Non retenue
	Partie à moins de 45 m de prof et au-delà des 36 premiers mètres	Sensible	Limitée	Moyen
	Partie entre de 45 et 60 m de prof	Très peu sensible à sensible	Limitée	Faible
	Au-delà de 60 m de prof	Non retenue	Non retenue	Non retenue
Config. C, descenderie des Auberges (FG2), descenderie Saint-Hilaire (CG2) et descenderie de la piscine (CG3)	Partie à moins de 45 m de prof	Sensible	Limitée	Moyen
	Partie entre de 45 et 60 m de prof	Très peu sensible à sensible	Limitée	Faible
	Au-delà de 60 m de prof	Non retenue	Non retenue	Non retenue
Config. C, descenderie de l'Abondance (CG6)	20 premiers mètres	Peu sensible	Limitée	Faible
	Partie à moins de 45 m de prof et au-delà des 20 premiers mètres	Sensible	Limitée	Moyen
	Partie entre de 45 et 60 m de prof	Très peu sensible à sensible	Limitée	Faible
	Au-delà de 60 m de prof	Non retenue	Non retenue	Non retenue
Config. E : zones notées comme exploitées par tailles	Tous les quartiers	Non sensible	Limitée	Non retenu (mais cartographié pour mémoire)
Config. E (zones notées comme exploitées par tailles > 50 m de prof)	Tous les quartiers	Non retenu	Non retenu	Non retenu
Puits de type 1 (FP1, CG1 et CG5)	-	Sensible	Limitée	Moyen
Puits de type 2 (Puits des Auberges, Saint-Michel 1 et René)	-	Peu sensible	Limitée	Faible

Tableau 23 : Niveaux d'aléa mouvement de terrain liés aux effondrements localisés sur les travaux des concessions de La Fare et Coudoux

1.3.4 CARTOGRAPHIE

Les documents correspondants à la cartographie de l'aléa effondrement localisé sont présentés en annexes 5a et 5b.

1.3.4.1 EFFONDREMENT LOCALISE AU DROIT D'UNE GALERIE A FAIBLE PROFONDEUR

Afin de cartographier cet aléa, il faut identifier dans la zone de digitalisation des galeries ou descenderies, la partie située entre la surface et la profondeur seuil ou limite d'apparition en surface de la cloche de fontis potentielle. Cette opération a été réalisée :

- soit en comparant les cotes des travaux lues sur les plans miniers et les cotes de surface issues de la BDORTHO® (création de Modèle Numérique de Terrain) ;
- soit en extrapolant les cotes des galeries à partir du pendage supposé de l'ouvrage ou de la couche pour finalement comparer cette cote à la cote de surface issue de la BDORTHO® (création de Modèle Numérique de Terrain).

Afin d'obtenir la cartographie finale de l'aléa, à cette première sectorisation ont été ajoutées deux marges (voir Figure 20) :

- marge de sécurité ou marge d'incertitude globale de localisation des galeries (incertitude issue de celle du plan sur laquelle se trouve cet ouvrage et l'incertitude du fond BDORTHO®). Les valeurs de cette marge varient de 5 à 20 m pour les différentes zones (voir Tableau 17 de la partie B) ;
- l'extension latérale des effondrements localisés, de l'ordre de 5 à 7 m (correspondant à la frange d'altération de la couche superficielle qui est un peu plus importante aux quartiers exploités dans le bassin alluvial proche de l'Arc).

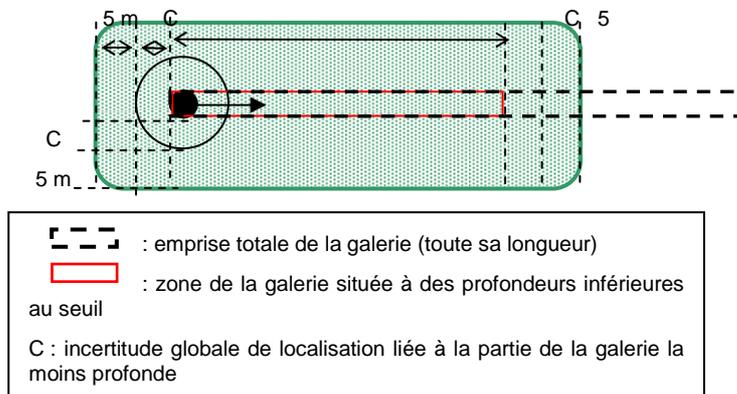


Figure 20 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'une galerie ou d'une descenderie souterraine

Cas particulier des travaux de Villecroze : cette enveloppe de galeries étant déjà suffisamment sécuritaire aucune marge d'aléa n'y a été rajoutée.

1.3.4.2 EFFONDREMENT LOCALISE A L'APLOMB DE TRAVAUX D'EXPLOITATION

Le principe est identique à celui défini ci-avant. Il s'agit ici d'isoler une zone de travaux d'exploitation localisée en deçà d'une profondeur limite. L'évaluation des marges est identique.

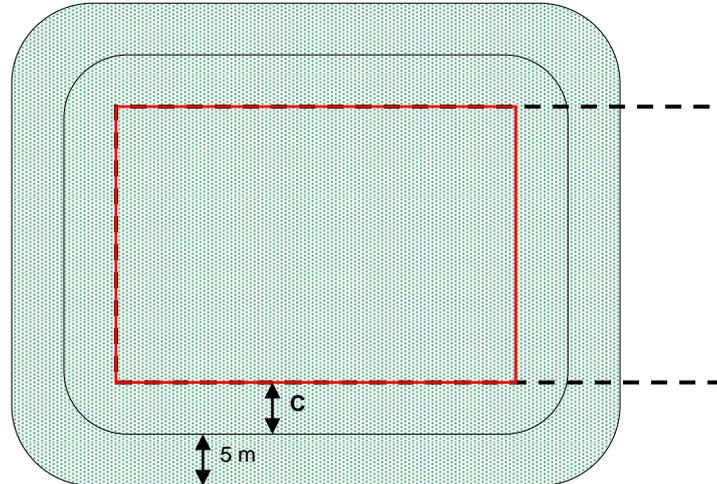
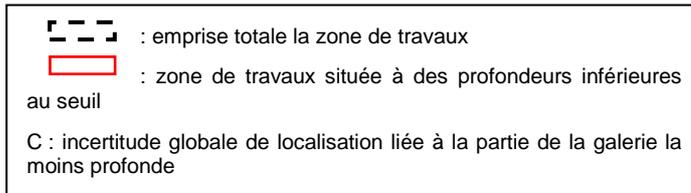


Figure 21 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'une zone d'exploitation

1.3.4.3 EFFONDREMENT DE LA TETE DE PUIITS

Sur la carte d'aléa effondrement localisé en annexe, nous avons cartographié les zones d'aléa définies précédemment à proximité de la tête des puits.

Le rayon de la zone d'aléa est défini à partir du centre du puits et comprend :

- le rayon du puits (1 m si non renseigné) ;
- un rayon supplémentaire correspondant à l'extension latérale du cône d'effondrement (pris égal à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface, soit au plus de 5 m) ;
- un rayon supplémentaire correspondant à l'incertitude globale de localisation : celle du support cartographique (BDORTHO®) et celle sur la localisation intrinsèque du puits (0,3 m à 50 m, voir paragraphe 5.1.3.1 de la partie B).

La majorité des puits sont situés au droit de zones d'exploitations souterraines (config. A à E), l'aléa finalement affiché et cartographié sera celui de niveau le plus important.

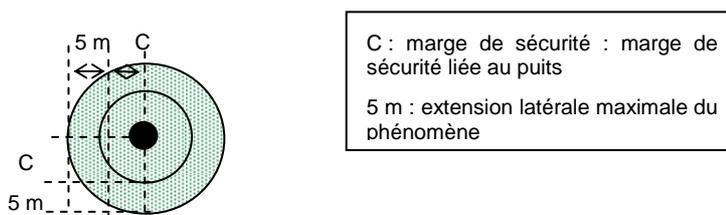


Figure 22 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'un puits

1.4 ANALYSE DU PHENOMENE D’AFFAISSEMENT

L’affaissement correspond au mouvement des terrains de surface induit par l’éboulement des travaux souterrains. Ce mouvement qui se fait de façon souple et progressive résulte en une dépression topographique, sans rupture cassante importante, avec une allure de cuvette,

Sont à distinguer dans cette famille :

- les affaissements progressifs induits par les exploitations partielles (chambres et piliers). Ce type d’affaissement est possible à l’aplomb des secteurs généralement profond exploités par chambres et piliers abandonnés lorsqu’il résulte d’une rupture progressive des piliers par écrasement, accompagnée d’une descente souple des terrains de recouvrement plutôt que d’une rupture brutale du toit. En cas de poursuite de l’écrasement des piliers ou d’initiation du phénomène dans des secteurs de configuration différente, une reprise des affaissements passés ou l’apparition d’affaissements nouveaux est envisageable ;
- les affaissements induits par les exploitations totales (tailles foudroyées). Cette méthode d’exploitation n’a pas été mise en place sur les concessions du bassin de La Fare – Vèdes. Néanmoins, il est intéressant de rappeler ici que de tels affaissements (liés à la répercussion en surface du fléchissement des bancs au toit des zones de taille) se réalise toujours dans les premières années suivant l’arrêt des travaux (de l’ordre de 5 ans) [6]. L’exploitation des secteurs concernés par les exploitations totales (quartiers Saint-Michel, Saint-Hilaire et des Auberges uniquement) ont été arrêtée en 1948 ou en 1933.

Compte tenu de ces informations, tout affaissement de ce type est donc écarté de l’ensemble des travaux miniers des 5 concessions de Vèdes, Bassan, Liquette, Coudoux et La Fare.

1.4.1 PREDISPOSITION

1.4.1.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

Comme pour l’effondrement généralisé, les seuls travaux concernés par un affaissement potentiel sont les secteurs exploités par une méthode partielle, ils se limitent à 6 secteurs dans les quartiers des Estiennes, de Daurenque, de l’Intendant et du Braou (2 zones de config. B et 4 zones de config. D). En effet, tous les autres secteurs (config. B, E ou C) ne sont pas concernés par un affaissement potentiel.

Le gisement sur ces 3 concessions était qualifié de « *si tourmenté qu’il n’a jamais été possible d’y organiser une exploitation étendue* ». Ainsi, les plans des travaux révèlent des champs d’exploitation limités, au maximum 200 mètres de long sur 15 mètres de large en continu (compte tenu du pendage).

De plus, ces zones de chambres et piliers sont peu profondes entre 0 et 60 m aux quartiers des Estiennes et de l'Intendant, entre 0 et 70 m aux quartiers du Braou et de Daurenque. Ainsi, la contrainte verticale estimée dans les piliers résiduels est peu importante, de l'ordre de 3 MPa¹⁶, comparée à la résistance de 4 à 5 MPa du lignite de Provence¹⁷. Cette proximité de la surface croisée avec la nature des terrains de recouvrement généralement tourmentée contribuent à traduire préférentiellement toute rupture de pilier résiduel par un effondrement localisé et non par une rupture successive de piliers nécessaire à la réalisation d'un affaissement.

Compte tenu de ces informations, tout affaissement progressif induits par les exploitations partielles est donc écarté de l'ensemble des travaux miniers des 3 concessions de Vèdes, Bassan, Liquette. Seule une remobilisation des terrains reste aujourd'hui envisageable (affaissement résiduel comparable à un tassement), ce phénomène sera examiné plus avant.

1.4.1.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Sur ces concessions des méthodes d'exploitation par tailles montantes suivies de remblayage ont été principalement mises en places ; la présence de chambres et piliers est donc improbable.

Les chantiers des concessions de La Fare et de Coudoux présentent des pendages « faibles » de l'ordre de 20° et sont pour la plupart remblayés parfois hydrauliquement. Ainsi, le risque d'écoulement de remblais (débouillage) et la génération de vides de taille conséquente est peu probable. Certes il n'est pas possible d'exclure totalement la présence de vides résiduels mais la rupture de telles cavités se traduira préférentiellement par des effondrements localisés que par un affaissement ou une reprise d'affaissement.

De plus, aucun affaissement des terrains de surface n'est mentionné dans les archives et les travaux miniers souterrains sont complètement ennoyés (quartiers Saint-Michel et des Auberges). Ainsi, tout affaissement progressif induit par des exploitations partielles est donc écarté de l'ensemble des travaux miniers des 2 concessions de La Fare et de Coudoux, comme les affaissements induits par les exploitations totales (voir paragraphe 0 ci-avant).

Seul un affaissement résiduel, dont les conséquences en surface sont similaires à un tassement des terrains, reste aujourd'hui envisageable. En effet, les remblais, déversés dans les chantiers vides, pourraient être remobilisés en particulier sous l'influence de circulations d'eau. Ce phénomène sera examiné ci-après.

1.4.2 NIVEAUX D'ALEA

Tout affaissement potentiel, qu'il soit induit par des exploitations partielles ou totales, est donc écarté de l'ensemble des travaux miniers des 5 concessions de Vèdes, Bassan, Liquette, Coudoux et La Fare. Aucune cartographie ne sera définie pour ce phénomène.

¹⁶ Considérant un taux de défrètement sécuritaire de 60%, une profondeur de 50 m et un poids volumique jugé sécuritaire des terrains de recouvrement de 0,025 MN/m³.

¹⁷ Valeur correspondant à la résistance in situ à long terme au regard de notre retour d'expérience sur les anciennes exploitations de lignite et charbon du bassin de l'Arc [6].

1.5 ANALYSE DU PHENOMENE DE TASSEMENT

Les tassements potentiels attendus ici sont liés à la recompaction du massif affecté par les travaux souterrains sous l'effet de surcharges et/ou de circulation d'eau par exemple.

1.5.1 PREDISPOSITION

1.5.1.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

Les méthodes d'exploitation suivies sur ces concessions (config. B à D) laissent supposer l'existence de vides résiduels sub-surfaciques (méthodes partielles), et sont plutôt de nature à générer des effondrements localisés.

Toutefois, un départ de fontis au toit d'une galerie pourrait auto-foisonner avant d'atteindre la surface. Le phénomène de tassement est alors possible à l'aplomb de la cloche de fontis autocomblée, lorsque celle-ci se situe à faible profondeur.

Quant aux ouvrages, seuls les puits miniers remblayés et les ouvrages subhorizontaux remblayés ou pas (galeries, descenderies, TB ou « fendues ») peuvent être potentiellement concernés par les phénomènes de tassements. Les tassements seront écartés du puits de Vèdes, des orifices des descenderies de Daurenque et de du Braou, seuls ouvrages encore ouverts.

Galeries, descenderies, TB ou « fendues » (config. B à D) à moins de 50 m de profondeur

Des tassements sont possibles à l'aplomb de cloches de fontis auto-foisonnées initiées à partir de travaux n'excédant pas 50 m de profondeur, cette limite est justifiée par le fait que :

- les terrains de recouvrement sont peu cohérents et fissurés (marnes, argiles, grès ou horizons calcaire fissurés) ;
- peu d'information est aujourd'hui disponible sur les traitements des ouvrages miniers remblayés (nature des remblais, mode de remblayage ...) ;
- dans le contexte local, on peut considérer qu'une cloche de fontis remonte au moins à 20-25 m au-dessus de la galerie qui l'a initiée avant tout foisonnement et que toute surcharge en surface ne peut avoir d'impact au-delà de 30 m de profondeur ;

Ainsi, une prédisposition peu sensible à sensible pour le phénomène de tassement a été retenue sur l'ensemble de ces zones de travaux (profondeur inférieure à 50 m).

Puits remblayés (ou de traitement inconnu)

Pour les mêmes raisons que précédemment les puits remblayés ou de traitement inconnu de ces 3 concessions sont définis comme sensibles aux tassements.

1.5.1.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Outre les ouvrages remblayés, qui sont, comme sur les concessions précédentes soumis aux tassements, des zones de taille remblayés (config. E) ont été réalisées sur ces périmètres. Ces secteurs peuvent être le siège de tassements potentiels.

Zones de taille remblayées (config. E)

Dans le cas de travaux remblayés faiblement pentés, on peut s'attendre à deux mécanismes induisant des tassements en surface :

- le tassement de l'ensemble des terrains de recouvrement et du remblai sous l'effet de surcharges en surface ;
- la formation de « petits » vides lié à la compressibilité propre du remblai mis en place ou encore à un mauvais remblayage. Ces vides pourront se refermer sous l'effet de surcharges en surface.

La prédisposition est difficile à déterminer dans le cas présent : aucun événement marquant, attribuable sans ambiguïté à ce mécanisme, n'est connu sur ces deux concessions.

Toutefois, les terrains du recouvrement étant généralement de nature meuble (marnes et alluvions) et les circulations d'eau parfois importantes, la prédisposition des zones situées au-dessus d'exploitations totales peu profondes est retenue comme sensible pour ces travaux. D'expérience sur ce type d'exploitations¹⁸ et par homogénéité, la profondeur maximale au-delà de laquelle toute recompaction des terrains ne peut se traduire par un tassement est prise égale à 50 m.

Descenderies et puits remblayés (ou de traitement inconnu)

- puits René (CP1) : remblayé jusqu'à 24 m de profondeur, équipé d'un bouchon de 5 m de hauteur au-dessus de ce remblai et de nouveau remblayé entre ce bouchon et la surface. Il sera défini comme peu sensible aux tassements ;
- descenderie de Saint Hilaire (CG2) : probablement remblayée et « fermée au tracto-pelle », elle sera retenue comme sensible aux tassements ;
- descenderie de l'abondance (CG4) : remblayée avec du matériau fin, elle sera définie sensible aux tassements ;
- puits des Auberges et puits Saint-Michel n°1 (FP2 et FP 3) : ces puits ont été remblayés sur toute leur hauteur mais les recettes n'ont pas été obturées. Ils peuvent présenter des circulations d'eau importante. Ces deux ouvrages sont définis comme sensible aux tassements.
- puits Saint-Michel n°2 (FP1) : il est supposé remblayé, il est défini comme sensible aux tassements.
- descenderie Saint-Michel (FG1) : elle a été équipée d'un bouchon auto-bloquant et remblayée pneumatiquement sur les 36 premiers mètres avec un mélange de sable fin et gravier, cette partie présente une prédisposition nulle aux tassements. La partie au-delà du bouchon n'étant pas remblayée, elle n'est pas soumise aux tassements mais aux effondrements localisés.
- autres ouvrages de traitement inconnu (FG2, CG2, CG3, CG5 et CG6) : par sécurité ces ouvrages sont définis comme sensibles aux tassements.

¹⁸ Valeur prise généralement égale à 50 m pour des exploitations recouvertes de terrains moyennement cohérents, et majorée séculairement ici d'environ 25 % (recouvrement meuble)

1.5.2 INTENSITE

Bien que manquant de retours d'expérience sur des cas observés, les mouvements de terrains consécutifs à des tassements sont, sauf exception, de faible ampleur (l'amplitude maximale est d'ordre décimétrique). Ce type de désordre est de nature à engendrer des dégradations aux biens (bâti et infrastructures) présents en surface mais pas à mettre en danger les populations, c'est pourquoi une intensité très limitée leur est attribuée.

1.5.3 NIVEAUX D'ALEA

Les niveaux d'aléa liés aux tassements sont définis dans le tableau ci-après (croisement intensité et prédisposition).

Concessions	Configurations de travaux	Prédisposition	Intensité	Niveaux d'aléa
Vèdes, Liquette et Bassan	Config. B, C et D (> 50 m de prof)	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	Config. B, C et D (< 50 m de prof)	Sensible	Très limitée	Faible
	Config. A	Pas sensible	Très limitée	Non retenu (mais cartographié pour mémoire)¹⁹
	Galeries et puits ouverts	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	Galeries et puits remblayés	Peu sensible à sensible	Très limitée	Faible
La Fare et Coudoux	Config. E (> 50 m de prof)	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	Config. E (< 50 m de prof)	Sensible à très sensible	Très limitée	Faible
	Galeries et puits ouverts	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	Galeries et puits remblayés	Peu sensible à sensible	Très limitée	Faible

Tableau 24 : Niveaux d'aléa mouvement de terrain liés aux tassements sur les travaux des concessions de Vèdes - La Fare

1.5.4 CARTOGRAPHIE

Les documents correspondants à la cartographie de l'aléa tassement sont présentés en annexes 5a et 5b.

Sur ces cartes, ont été cartographiées les zones d'aléa :

- relatives aux galeries débouchant en surface à moins de 50 m de profondeur ;
- relatives aux puits remblayés ;
- relatives aux zones d'exploitation remblayées à moins de 60 m de profondeur.

Cette cartographie tient compte :

- d'une marge de sécurité (incertitude de localisation et incertitude liée au support cartographique BDORTHO®) dont les valeurs varient de 5 à 10 m pour

¹⁹ Même raisonnement que celui mené pour les effondrements localisés en config.A

les zones de tailles remblayées (voir Tableau 17 de la partie B) et de 0,3 m à 50 m pour les ouvrages au jour (voir paragraphe 5.1.3.1 de la partie B)

- d'une marge d'extension latérale du phénomène de tassement :
 - de l'ordre de 5 m pour les puits et descenderies remblayés (correspondant à la frange d'altération de la couche superficielle) ;
 - déterminée à partir d'un « angle d'influence », pris sur la verticale, qui relie l'extrémité du panneau au fond, aux points de la surface où les déformations ou pentes sont considérés comme imperceptibles ou nuls. En règle générale, pour évaluer l'aire de la cuvette de tassement en surface, on considère le plus souvent, dans une couche située en plateure (pendage subhorizontal), un angle d'influence (γ) de l'ordre de 35° , soit 0 à 5 m du côté amont pendage et jusqu'à 35 m du côté aval pendage.

Chacune de ces cartographies est schématisée sur les figures suivantes (vue en plan) (Figure 23) et les valeurs retenues par quartiers sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Quartiers exploités	marge d'extension latérale (m)	marge de sécurité (m)	Aléa tassement
Galeries isolées du Quartier des Estiennes	5	15	Faible
Chambres et piliers du Quartier des Estiennes	35 (aval pendage à partir de 50 m de prof) 3 (amont pendage)	10	Faible
Quartier du Puits de Vèdes (galeries)	Non retenu (zone à plus de 50 m de profondeur)	Non retenu	Non retenu
Galeries isolées du Quartier de Daurenque	5	10 m au nord et 20 m au sud	Faible
Chambres et piliers du Quartier de Daurenque	35 (aval pendage à partir de 50 m de prof) 4 (amont pendage)	15 m	Faible
Quartier des Lagets (galeries)	5	5	Faible
Quartier de la descenderie de Liquette (galeries)	5	15	Faible
Galeries isolées du Quartier de l'Intendant	5	5 à 10	Faible
Chambres et piliers du Quartier de l'Intendant	35 (aval pendage à partir de 50 m de prof) 5 (amont pendage)	20	Faible
Galeries isolées du Quartier de Braou	5	15	Faible
Chambres et piliers du Quartier de Braou	35 (aval pendage à partir de 50 m de prof) 24 (amont pendage)	15	Faible
Quartier de Villecroze (galeries)	0 (marge de sécurité suffisamment importante)	50	Faible
Tailles remblayées du Quartier Saint-Hilaire	35 (aval pendage à partir de 60 m de prof) 24 (amont pendage)	10	Faible
Galeries isolées du Quartier Saint-Hilaire	5	10	Faible
Tailles remblayées du Quartier des Auberges	35 (aval pendage à partir de 50 m de prof) 21 (amont pendage)	10	Faible
Galeries isolées du Quartier des Auberges	5	10	Faible
Tailles remblayées du Quartier Saint-Michel	35 (aval pendage à partir de 50 m de prof) 30 (amont pendage)	10	Faible
Galeries isolées du Quartier Saint-Michel	5	10	Faible

Tableau 25 : détermination des marges d'aléa relatives aux tassements (sur les 5 concessions)

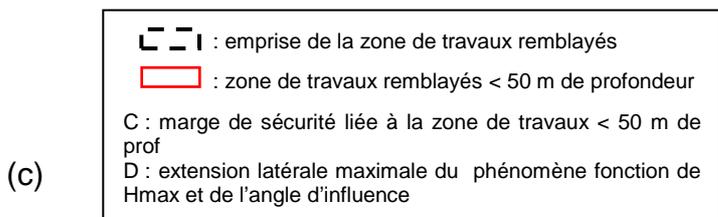
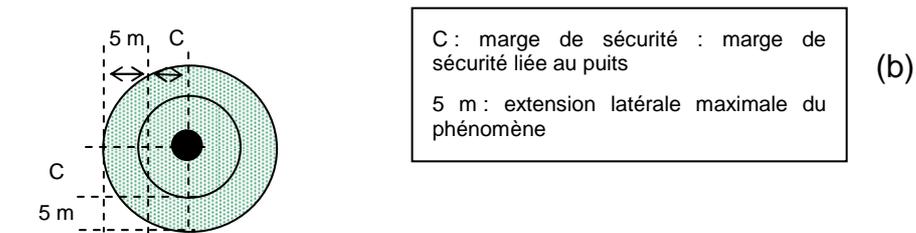
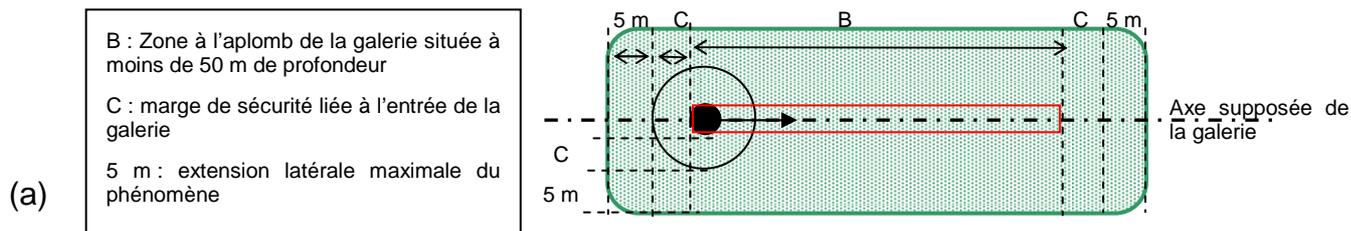


Figure 23 : Zonage de l'aléa tassement lié à la présence d'une galerie souterraine (a), d'un puits remblayé (b) et d'une zone d'exploitation remblayée à moins de 50 m de profondeur (c)

2 DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA EMISSION DE GAZ DE MINE ET ECHAUFFEMENT

Le gaz de mine accumulé dans tout réservoir minier (vides miniers et roche fracturée environnante) peut, sous certaines conditions, migrer en quantité significative vers la surface.

Cette migration peut se faire de manière 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.

Le gaz de mine est généralement un mélange de gaz d'origines diverses, à des teneurs variables :

- origine endogène²⁰ : grisou (méthane et ses homologues supérieurs (éthane, butane, propane), dioxyde de carbone, radon) ;
- origine exogène²¹ (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène).

En outre, rappelons que les situations de déficit en oxygène sont susceptibles d'être rencontrées dans tous les types d'exploitation minière (danger d'asphyxie pour les personnes).

2.1 DEFINITIONS DE CONFIGURATIONS TYPES OU DE ZONES HOMOGENES

Vis-à-vis de cet aléa, l'ensemble des vides miniers communiquant entre eux constituent une seule et même zone homogène, il n'est donc pas intéressant de définir ici un zonage aussi détaillé que celui relatif à l'aléa mouvement de terrain. Ainsi, les travaux des concessions de Bassan, Liquette et Vèdes, seront considérés comme une seule et même zone homogène et ceux de La Fare et Coudoux, comme une seconde zone homogène distincte de la précédente.

2.1.1 PREDISPOSITION

2.1.1.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

Présence des vides non ennoyés

La situation hydrodynamique au sein des vieux travaux de ces trois concessions minières peut être considérée comme stabilisée (à l'échelle humaine). Compte tenu des données établies lors de la phase informative (paragraphe 3.6 de la partie B), sur certains quartiers, l'épaisseur de la tranche de terrain non ennoyé (ensemble des vieux travaux situés au-dessus du niveau hydrostatique) est significative :

- au quartier du Puits de Vèdes : la totalité des travaux (galeries) est noyée, l'aléa émission gaz de mine n'y sera donc pas retenu ;
- au quartier de Daurenque : une partie des travaux d'exploitation est probablement non ennoyée ;

²⁰ Endogène : contenu dans le gisement avant l'exploitation

²¹ Exogène : produit à partir d'une transformation chimique du gisement ou de certains éléments de la mine, pendant ou après l'exploitation

- au quartier des Estiennes : une part non négligeable des travaux d'exploitation est probablement hors d'eau ;
- aux quartiers de l'Intendant et de Braou, aucune information sur les niveaux d'eau n'a été retrouvée, dans une approche sécuritaire, l'ensemble des vides miniers de ces secteurs d'exploitation sont retenus comme non ennoyés.

Ces exploitations non ennoyées présentent une prédisposition à émettre du gaz vers la surface puisqu'il constitue un réservoir potentiel.

Les galeries isolées des secteurs des Lagets, de la descenderie de Liquette et de Villecroze ne sont pas retenues comme potentiellement émettrices de gaz de mine car elles représentent un volume très restreint tout en étant probablement hors d'eau.

Présence de gaz de mine (voir paragraphe 2.1.2.1 ci-après)

Compte tenu de la nature du gisement exploité, on peut, a priori, envisager la présence dans l'atmosphère des anciens travaux miniers non ennoyés de dioxyde de carbone, de radon et d'air désoxygéné ainsi que, dans une moindre mesure, de monoxyde de carbone.

Migration de gaz à travers les roches de couverture

La grande majorité des zones exploitées non ennoyée se situe à faible profondeur, sûrement à moins de 65 m et probablement à moins de 40 m de profondeur. Ainsi, l'épaisseur des terrains de recouvrement est trop faible pour s'opposer efficacement à une migration éventuelle de gaz vers la surface.

Par ailleurs, aucun horizon à faible perméabilité susceptible de s'opposer à la progression de gaz vers la surface n'a été identifié dans les terrains de recouvrement des quartiers concernés.

Dans le contexte des titres miniers, la prédisposition du milieu à la migration de gaz peut alors être évaluée comme peu sensible à sensible pour les travaux non ennoyés.

Migration de gaz à travers les ouvrages débouchant au jour

Ces ouvrages (puits, cheminées, galeries et descenderies) constituent des vecteurs préférentiels pour la migration du gaz de mine vers la surface, surtout s'ils sont restés ouverts ou s'ils n'ont pas été obturés de manière étanche²².

Aucun des puits recensés n'a été traité par bouchon en béton. De plus, les ouvrages dont l'information sur le traitement est parcellaire ou inexistante sont systématiquement considérés comme traités inefficacement vis-à-vis des émissions de gaz.

Sur le même principe, la prédisposition de migration de gaz à travers les désordres de type fontis, même remblayés, sera toujours considérée comme très sensible.

Concernant les ouvrages sub-horizontaux comme les galeries d'accès, l'analyse de leur prédisposition doit prendre en compte à la fois le critère d'obturation et les

²² Pour les puits une mise en sécurité convenable est par exemple un bouchon autoportant en béton et suffisamment long, il permet de réduire les fuites de gaz, autres qu'une faible émanation diffuse vers l'atmosphère par des défauts d'étanchéité éventuels de l'ouvrage.

critères relatifs à l'épaisseur de recouvrement.

En fonction des éléments mentionnés ci-avant, tous les ouvrages (puits, entrées de galerie, fontis observés) vers les travaux non ennoyés sont définis comme sensibles (ou très sensibles pour les ouvrages ouverts).

2.1.1.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Présence des vides non ennoyés

La situation hydrodynamique au sein des vieux travaux de ces 2 concessions minières peut être considérée comme stabilisée et revenue, depuis l'arrêt des travaux, à l'équilibre avec l'Arc.

Compte tenu des données établies lors de la phase informative (paragraphe 4.6 de la partie B), les 3 quartiers exploités en souterrain sont aujourd'hui intégralement ennoyés une grande partie de l'année. Sur cette seule information tout aléa émission significative de gaz de mines en surface peut être écarté des travaux de ces 3 quartiers.

A titre sécuritaire, seuls les ouvrages minières débouchant au jour pourront être retenus en aléa émission de gaz de mines avec une prédisposition très peu sensible.

2.1.2 INTENSITE

2.1.2.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

L'historique des quartiers de mines exploités sur ces trois concessions a permis de mettre en évidence que ces mines n'étaient pas grisouteuses ou qu'elles n'ont jamais été classées comme telles.

Toutefois, l'atmosphère des vides minières résiduels peut être appauvrie en oxygène et alimentée en gaz nocifs par une oxydation très intense du gisement pouvant dans certains cas évoluer vers une autocombustion. En effet, pendant la période d'exploitation, un feu s'est développé entraînant des dégagements de gaz toxiques ou inflammables tels que le CO₂, le monoxyde de carbone ou l'hydrogène qui sont peut être encore « contenus » au sein des travaux minières.

D'après les éléments précédents, les vieux travaux minières du secteur étudié sont susceptibles d'émettre un flux de gaz de mine vers la surface pouvant contenir, en fonction de la dilution du gaz dans les vides minières, des composants asphyxiants ou toxiques à des teneurs entraînant un impact significatif.

Ainsi, dans les zones de travaux minières, selon les critères du guide méthodologique [5], l'intensité du phénomène est considérée comme faible à moyenne pour les gaz « classiques » concernés ici. Cependant, lorsque les travaux d'exploitation par chambres et piliers sont de faible ampleur (volume exploité nettement inférieur à 10 000 m³) ou constitués uniquement d'un réseau de galeries isolées, l'intensité du phénomène peut être considérée comme très faible à nulle.

2.1.2.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Il est inutile de définir l'intensité sur ces concessions d'un aléa retenu uniquement de manière sécuritaire sur les ouvrages, elle sera définie comme sur les trois concessions précédentes

2.1.3 NIVEAUX D'ALEA

Les niveaux retenus sont définis dans le tableau ci-après (croisement de l'intensité prévisible avec sa prédisposition).

Concessions	Secteurs	Prédisposition	Intensité	Niveaux d'aléa
Vèdes, Liquette et Bassan	Zones de galeries du quartier du puits de Vèdes	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	Zones d'exploitation non ennoyées : secteur de chambres et piliers des Estiennes, quartier de l'intendant, quartier de Daurenque et quartier du Braou	Sensible	Très faible à nulle	Faible
	Zones de galeries filantes	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	Ouvrages remblayés ou de traitement inconnu et désordres	Sensible	Très faible à nulle	Moyen
	Ouvrages ouverts	Très sensible	Très faible à nulle	Moyen
La Fare et Coudoux	Ouvrages débouchant au jour et désordres	Peu sensible	Très faible à nulle	Faible
	Tous quartiers exploités	Nulle	Non retenu	Non retenu

Tableau 26 : Niveaux d'aléa émission de gaz de mine sur les travaux du bassin de Vèdes - La Fare

2.1.4 CARTOGRAPHIE

Les niveaux d'aléa relatifs aux émissions de gaz de mines sont applicables :

- aux secteurs à l'aplomb de travaux d'exploitation partielle non ennoyés. A l'emprise de ces secteurs, une marge liée à la zone d'influence de ces travaux, qui sera identique à celle prise lors de l'aléa tassement. Pour les travaux et sans étude technique supplémentaire, l'angle d'influence sera pris sécuritairement à 35°, il n'a pas été jugé utile de rajouter une marge supplémentaire de sécurité ;
- à l'emprise des ouvrages débouchant en surface (puits ou entrées de galerie ou fontis). Cette emprise comprend un rayon d'incertitude de positionnement relative à chaque ouvrage sur le support cartographique (entre 0,3 et 50 m) et un rayon de sécurité correspondant à la distance nécessaire à la dilution de gaz émis par l'orifice et prenant aussi en compte des migrations latérales éventuelles de gaz par le sol à partir de la tête de l'ouvrage concerné. Nous estimons ici cette distance à 15 m.

Les documents correspondants à la cartographie de l'aléa émission de gaz de mine sont présentés en annexes 5a et 5b.

Concessions	Secteurs	marge d'extension latérale (m)	marge de sécurité (m)	Niveaux d'aléa
Vèdes, Liquette Bassan et	Zones d'exploitation non ennoyées : secteur de chambres et piliers des Estiennes, quartier de l'intendant, quartier de Daurenque et quartier du Braou	28 (aval pendage à partir de 40 m de prof) 5 (amont pendage)	Intégrée à la marge précédente	Faible
	Ouvrages remblayés ou de traitement inconnu et désordres	15 m	Entre 0,3 et 50 m	Moyen
	Ouvrages ouverts	15 m	Entre 0,3 et 50 m	Moyen
La Fare et Coudoux	Ouvrages débouchant au jour et désordres	15 m	Entre 0,3 et 50 m	Très faible

Tableau 27 : Détermination des marges d'aléa relatives à l'aléa émissions de gaz de mine sur le bassin de Vèdes - La Fare

2.2 ECHAUFFEMENT

Le phénomène d'échauffement est un phénomène naturel engendré par l'oxydation de la matière organique des combustibles fossiles (charbon, lignite, schistes bitumineux, etc.).

Dans le cas des terrils ou de remblais souterrains, le phénomène d'échauffement peut survenir, notamment si les facteurs suivants sont réunis :

- présence de matière combustible (fraction ligniteuse) ;
- porosité importante du dépôt facilitant la circulation d'air et donc la combustion ;
- « mise à feu » du dépôt : il peut s'agir, par exemple, d'un feu de broussaille.

Sur le site de la Fare - Vèdes cet aléa n'a pas été retenu puisque peu de terrils sont recensés et qu'une partie des travaux est ennoyée (voir paragraphes 6.1 et 6.2 de la partie B)).

Si aucun événement extérieur ne se produit, on peut considérer que la probabilité d'auto-allumage est nulle au niveau des affleurements oxydés. Toutefois, l'échauffement du lignite peut se déclarer dans le cas de terrassements ou d'un incendie de surface.

Ces deux conditions peuvent bien évidemment se rencontrer sur tous les affleurement du lignite du bassin de la Fare - Vèdes. Lors des visites sur le site, ces affleurements n'ont que très rarement été repérés. Il paraît donc illusoire de les cartographier de manière exhaustive. Aucune carte d'aléa minier n'a été réalisée sur ce phénomène.

3 DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES

Les eaux météoriques ou les eaux souterraines circulant dans les zones de travaux miniers peuvent s'enrichir en certains éléments chimiques (métaux lourds, sulfates ...) et par la suite elles pourraient potentiellement occasionner un impact :

- sur les eaux de surface par l'intermédiaire d'exhaure minière ;
- sur les aquifères en communication avec les eaux souterraines de la mine.

3.1 DEFINITIONS DE L'UNITE HYDROGEOLOGIQUE

Les zones exploitées sur l'ensemble des trois concessions de Bassan, Liquette et Vèdes, d'une part, et de La Fare et Coudoux, d'autre part, étant peu étendues ; il n'a pas jugé utile de définir des configurations type vis-à-vis des aléas potentiels de pollution des eaux souterraines et de surface. En effet, ce type d'aléa est défini à l'échelle de bassin versant ou d'unité hydrogéologique d'étendue supérieure aux secteurs exploités.

Ainsi, les travaux des concessions de Bassan, Liquette et Vèdes, seront considérés comme une seule et même « unité » et ceux de La Fare et Coudoux, comme une seconde zone homogène distincte de la précédente.

3.1.1 PREDISPOSITION

3.1.1.1 CONCESSIONS DE VEDES, BASSAN ET LIQUETTE

Eaux de surface :

Aucune zone d'exhaure minière n'a été retrouvée sur le territoire de ces titres miniers. L'historique des sites, analysé dans les documents d'archives, mentionne que les eaux envahissant les travaux souterrains étaient nombreuses et qu'elles étaient les plus souvent évacuées manuellement ou pompées à l'extérieur. L'existence de deux galerie-tranchées d'exhaure est mentionné dans ces mêmes textes (quartier des Estiennes), elles ont été localisées sur de vieux plans miniers mais aucune trace n'a été retrouvée sur ce site. De plus, des témoignages oraux révèlent l'apparition de points de résurgence d'eaux par d'anciens ouvrages miniers suite à de forts évènements pluvieux (cheminée Pascau, descenderie de Daurenque et puits de Vèdes voir paragraphes 3.5 et 3.6 de la partie B).

Il semble donc légitime de retenir les points suivants :

- en période de basses eaux, les eaux de transit s'infiltreront rapidement et sont drainées dans l'encaissant calcaire fracturé. Il n'y a donc pas de résurgences en surface d'eaux circulant dans les anciens travaux miniers ;
- en dehors de la période des basses eaux, des émergences temporaires peuvent apparaître. Suite à une circulation dans les travaux miniers, la qualité des eaux superficielles des cours d'eau peut alors être modifiée en aval des travaux miniers des titres étudiés.

Les informations précédentes concernent les quartiers de l'Intendant, de Daurenque, des Lagets, de la descenderie de la Liquette, du puits de Vèdes, du

Braou et des Estiennes, ils sont définis comme sensibles à une potentielle pollution des eaux de surface.

Les travaux du quartiers de Villecroze étant de taille beaucoup plus réduite que les précédents et aucun cours d'eau ou ruisseau n'irriguant de façon considérable la surface ou les terrains à proximités de ces travaux, l'aléa pollution des eaux de surface n'est donc pas retenu sur ce quartier comme aléa possible.

Eaux souterraines :

Le manque de connaissance sur les aquifères miniers et sur le milieu environnant ne permet pas une qualification explicite de l'impact des travaux sur les eaux souterraines.

Les travaux miniers ennoyés peuvent contenir des eaux présentant des anomalies (en fer et sulfates particulièrement) susceptibles de les rendre impropres à certains usages.

Sans données complémentaires et afin de conserver en mémoire la présence des travaux, dans l'optique de futures recherches en eau potable, il a été retenu une prédisposition sensible relative à une potentielle pollution des eaux souterraines, au droit des travaux miniers souterrains.

Notons que la réalisation de forages à proximité des travaux est susceptible de modifier l'équilibre actuel et pourrait se traduire par une contamination au moins temporaire des forages (fer, sulfates essentiellement).

3.1.1.2 CONCESSIONS DE LA FARE ET COUDOUX

Eaux de surface :

Compte tenu de la qualité des eaux très médiocre de l'Arc, les analyses et les résultats révélant des teneurs « notables » en certains composés chimiques (voir paragraphe 4.14 de la partie B), ne semblent pas attribuables avec certitude aux zones minières.

Il paraît donc illusoire de définir un aléa pollution des eaux de surface dû à l'activité minière dans un environnement hydrologique connu pour son caractère dégradé, ainsi cet aléa ne sera pas retenu comme aléa probable sur les concessions de La Fare et Coudoux.

Eaux souterraines :

Comme pour les travaux des concessions précédentes, les données précises sur les eaux souterraines manquent. De la même manière, il a été retenu une prédisposition sensible relative à une potentielle pollution des eaux souterraines, au droit des travaux miniers souterrains.

3.1.2 INTENSITE

L'intensité de ces aléas est définie de manière unique sur l'ensemble des travaux des 5 concessions.

Eaux de surface :

Les mesures effectuées sur les eaux superficielles lors de la campagne en novembre 2006 ne font pas état d'un impact significatif des travaux miniers sur la qualité des eaux (concessions de Vèdes, Bassan et Liquette). Certaines valeurs

de teneur proches de limites d'exigence réglementaire conduisent à définir une intensité limitée.

Eaux souterraines :

Aucune information précise n'est disponible. Les eaux contenues dans les travaux miniers de lignite se caractérisent généralement par des teneurs potentiellement élevées en sulfates et fer, avec présence également de manganèse et de métaux lourds et métalloïdes (arsenic et zinc essentiellement). Si les teneurs en métaux lourds et métalloïdes sont rarement élevées, les teneurs en sulfates et fer peuvent être significatives. Les eaux peuvent être impropres à la consommation et affecter faiblement les potentialités du milieu récepteur. L'intensité correspondante sera limitée.

3.1.3 NIVEAUX D'ALEA

Les niveaux retenus sont définis dans le tableau ci-après (croisement de l'intensité prévisible avec sa prédisposition).

	Concessions	Secteurs	Prédisposition	Intensité	Niveaux d'aléa
Aléa pollution des eaux de surface	Vèdes, Liquette Bassan et	Quartiers de l'Intendant, de Daurenque, des Lagets, de la descenderie de la Liquette, du puits de Vèdes, du Braou et des Estiennes	Sensible	Limitée à modérée	Faible
		Quartier de Villecroze	Non retenu	Non retenu	Non retenu
	La Fare Coudoux et	Tous quartiers exploités	Non retenu	Non retenu	Non retenu
Aléa pollution des eaux souterraines	Vèdes, Liquette Bassan et	Tous quartiers exploités,	Sensible	Limitée	Faible
	La Fare Coudoux et	Tous quartiers exploités	Sensible	Limitée	Faible

Tableau 28 : Niveaux des aléas pollution des eaux souterraines et des eaux de surface sur le bassin de Vèdes - La Fare

3.1.4 CARTOGRAPHIE

Le document correspondant à la cartographie de l'aléa pollution des eaux souterraines et des eaux de surface est présenté en annexe 6.

Eaux de surface

L'objectif, dans le cadre de l'étude pré PPRM, est de cartographier les linéaires de cours d'eau prédisposés à présenter ce niveau d'aléa faible.

Le paramètre qui servira est la teneur en sulfates, cet élément sera considéré comme traceur parfait, ce qui permettra, par calcul de dilution simplifié, d'évaluer les zones potentiellement impactées par un rejet minier.

Les analyses effectuées dans le Vède montrent une teneur naturelle de l'ordre de 10 mg/l de sulfates.

Si l'on considère une teneur de 2000 mg/l de sulfates dans l'eau de mine (ce qui est sécuritaire) et un réservoir « minier » susceptible de produire 2 fois plus d'eau que le milieu naturel à surface égale, alors une dilution par un facteur 100 permet de revenir à une teneur de l'ordre de 40 mg/l, valeur du même ordre de grandeur que la valeur mesurée en amont des travaux.

Toutefois, le Vède rejoignant rapidement l'Huveaune aux portes d'Auriol et le ratio des débits de ces 2 cours d'eau étant de l'ordre (100 l/s / quelques l/s), il ne semble pas utile de mener plus avant une analyse si précise et de cartographier de manière sécuritaire en aléa faible l'ensemble du linéaire du Vède (sur environ 15 m de part et d'autre de la localisation du Vède) entre les zones de travaux miniers et le point de jonction avec l'Huveaune. Au-delà, l'aléa est considéré comme négligeable et n'est pas cartographié.

De manière sécuritaire le même aléa a été cartographié sur les ruisseaux temporaires en aval du secteur du Braou entre le point de convergence de ces deux rus et l'Huveaune.

La cartographie de l'aléa pollution des eaux superficielles est reportée sur la carte en annexe 6.

Eaux souterraines :

A l'emprise stricte des travaux souterrains, au droit desquels est défini l'aléa impact sur les eaux souterraines, a été ajoutée une auréole liée à la zone d'influence de ces travaux et à la marge d'incertitude. Compte tenu des contextes, cette marge a été prise égale à 40 m sur l'ensemble des zones de travaux des 5 concessions.

4 CONCLUSION

La présente étude a conduit à la synthèse de l'ensemble des documents disponibles (archives écrites, plans) sur les exploitations minières des concessions de lignite de Vèdes, Bassan, Liquette et La Fare.

Elle a également permis :

1. d'écarter l'aléa échauffement de terrils (improbable en l'absence de terrils conséquents).
2. d'écarter les phénomènes :
 - de glissement de pente lié aux dépôts de stériles ;
 - de type chutes de blocs (relatifs aux fronts de falaises liés à l'exploitation minière)
 - de modifications d'émergences ;
 - d'apparition de zones détremées ou de marécages ;
 - d'inondation des sous-sols et points bas ;
 - de modifications du régime des cours d'eau ;
 - d'inondations brutales.
3. de définir, d'évaluer et éventuellement de cartographier les aléas :
 - « émission de gaz de mine » : localement non retenu comme aléa possible sur certaines zones et plus généralement de niveau très faible à faible ;
 - « pollution des eaux superficielles » et « pollution des eaux souterraines » : évaluer sécuritairement de niveau faible sur le ruisseau Vède et finalement non retenu pour les zones proches de l'Arc. Quant aux eaux souterraines une analyse sécuritaire conduit aussi à un niveau faible sur les aquifères au droit immédiat des zones de travaux souterrains
 - « mouvements de terrains » avec les phénomènes :
 - d'effondrement localisé, initiés soit par la rupture du toit d'anciens travaux à faible profondeur (galeries isolées ou zones de chambres et piliers abandonnés), soit par la rupture des têtes de la rupture de puits ou de cheminée d'aérage. Ce phénomène a conduit à des niveaux d'aléa moyen ou faible selon les configurations concernées ;
 - d'affaissement et d'effondrement généralisé, qui après analyse ont pu être écarté de toutes les configurations de travaux rencontrés ;
 - de tassement, qui a conduit à un aléa de niveau faible principalement dû aux zones de travaux remblayés.

D) LISTE DES CARTES ET ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Dossier photographique PPRM Vèdes - La Fare (photos de terrain et réduction plans de travaux)	9 A4 + 2 A3
Annexe 2	Configurations types de travaux relatives aux « mouvements de terrain »	8 A4
Annexe 3	Evaluation et cartographie des aléas	26 A4
Annexe 4a	Carte informative : Concessions de Vèdes, Liquette et Bassan	1 A4 + 1 hors format
Annexe 4b	Carte informative : Concessions de La Fare et Coudoux	1 A4 + 1 hors format
Annexe 5a	Cartes d'aléa : Concessions de Vèdes, Liquette et Bassan <ul style="list-style-type: none"> • Effondrements localisés • Tassements • Emission de gaz de mines 	1 A4 + 3 hors format
Annexe 5b	Cartes d'aléa : Concessions de La Fare et de Coudoux <ul style="list-style-type: none"> • Effondrements localisés • Tassements • Emission de gaz de mines 	1 A4 + 3 hors format
Annexe 6a	Carte d'aléa pollution des eaux souterraines et de surface (Concessions de Vèdes, Liquette et Bassan)	1 A4 + 1 hors format
Annexe 6b	Carte d'aléa pollution des eaux souterraines (Concessions de La Fare et de Coudoux)	1 A4 + 1 hors format

ANNEXE 1

Dossier photographique PPRM Vèdes - La Fare (photos de terrain et réduction plans de travaux)

Concession de Vèdes

Quartier de Daurenque



Photo 1 : Puits Pascau (VP1) avant remblayage



Photo 2 : Puits Pascau (VP1) après remblayage



Photo 3 : Descenderie de Daurenque (VG1)

Quartier des Estiennes



Photo 4 : Entrée de galerie VG10

Quartier du Puits de Vèdes



Photo 5°: Puits de Vèdes (VP 6)



Photo 6 : Vue intérieure du Puits de Vèdes (VP 6)

Quartier de l'Intendant



Photo 7 : Indice des travaux de l'Intendant (VG19)

Concession de Bassan

Quartier de Braou



Photo 8 : Vue de dessus de la descenderie BG1

Quartier de Villecroze



Photo 9 : Effondrement localisé BD2

Concession de La Fare

Quartier des Auberges



Photo 10 : Puits des Auberges (FP3)

Quartier Saint-Michel



Photo 11 : Puits Saint-Michel (FP2)

Concession de Coudoux

Quartier de Saint-Hilaire



Photo 12 : Descenderie de Saint-Hilaire (CG2)



Photo 13 : Vue intérieure de CG2



Photo 14 : Puits René (CP1)



Photo 15 : Galerie Bertrand (CG6)



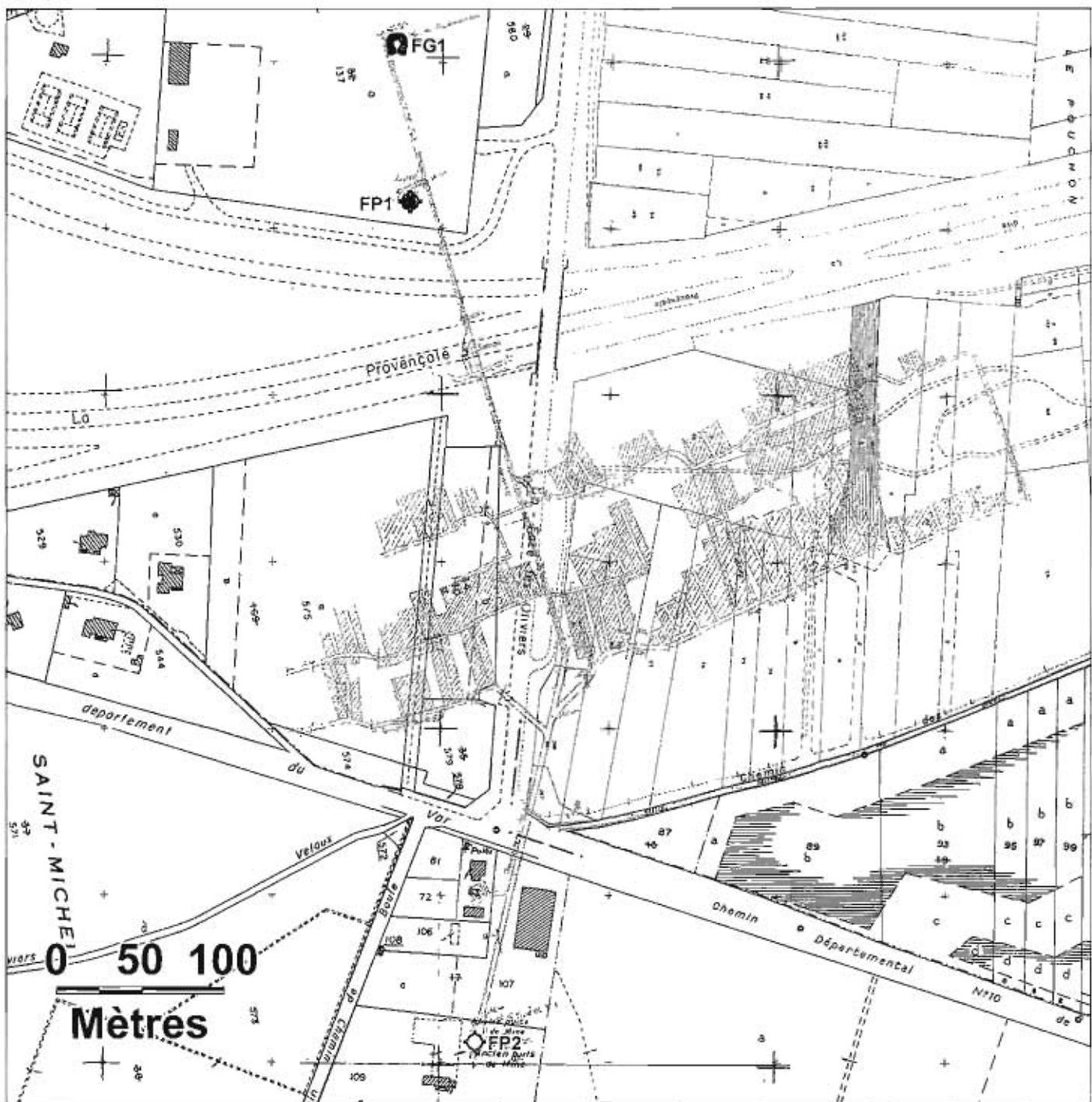
Photo 16 : Galerie Bertrand (CG16), vue du dessus



Photo 17 : Effondrement localisé (CD3)

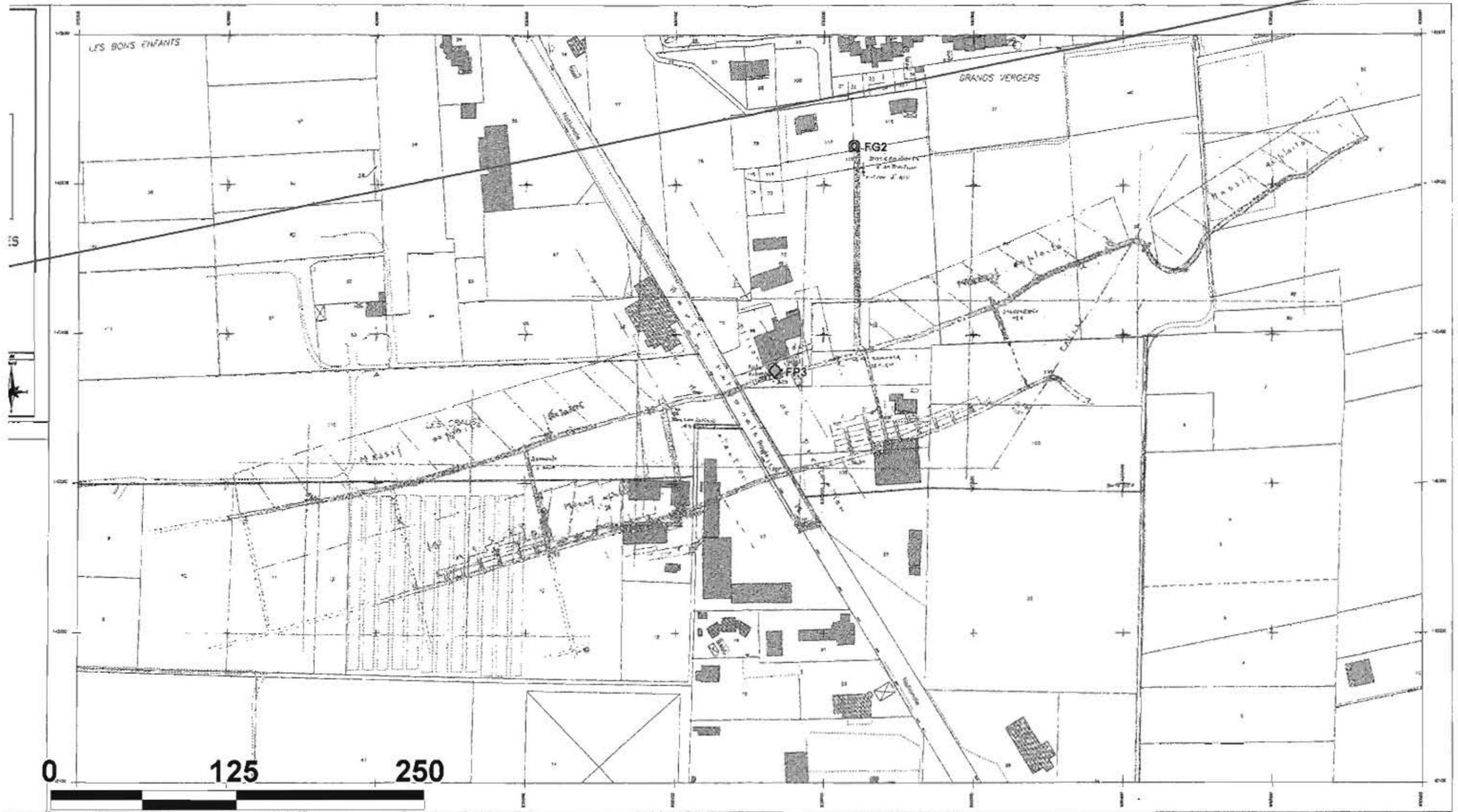
**Réduction des plans de travaux des concessions
de Vèdes, Bassan et Liquette**
(voir corps du texte)

**Réduction des plans de travaux des concessions
de La Fare et Coudou**



Quartier Saint-Michel

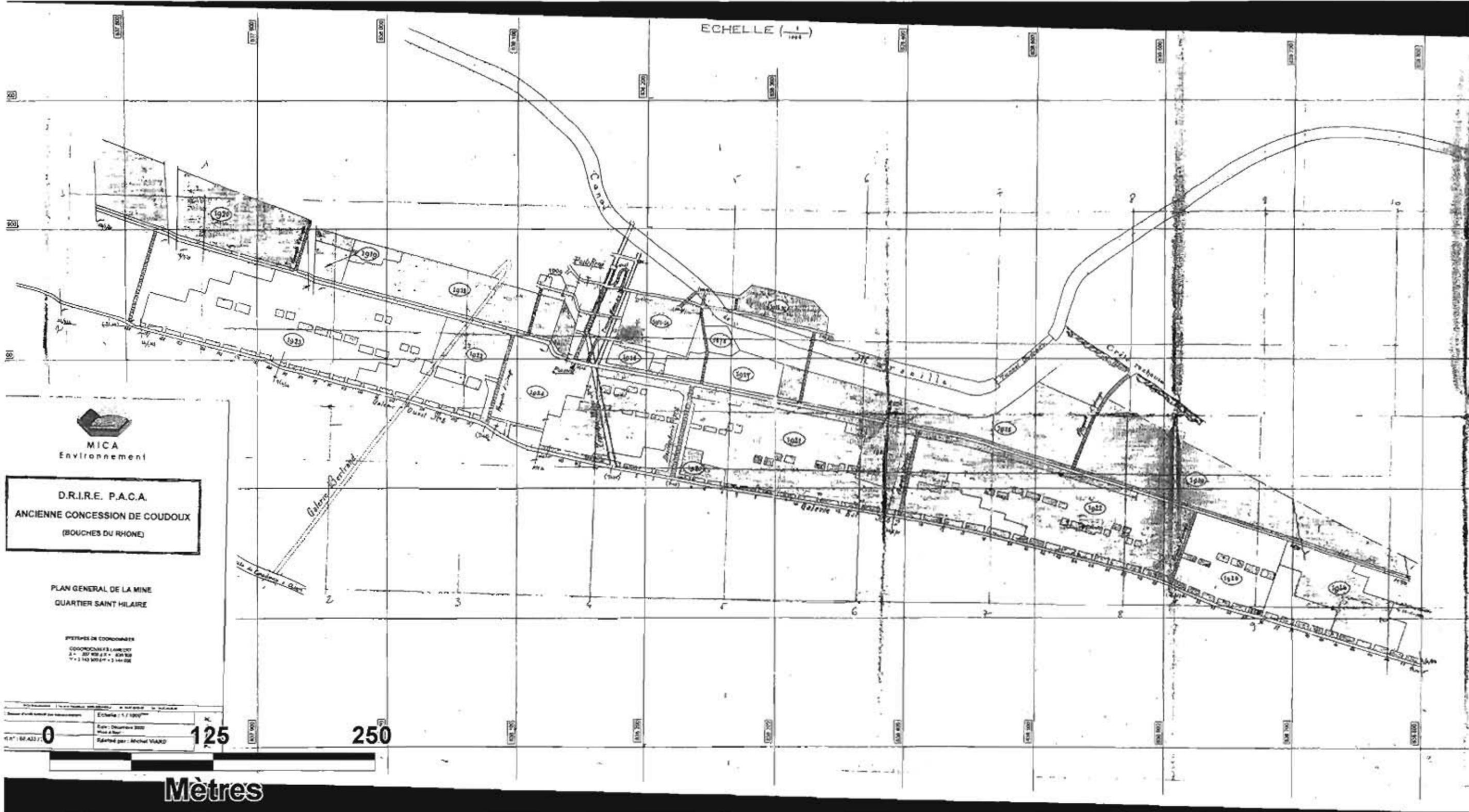
Quartier des Auberges



0 125 250

Mètres

Quartier Saint-Hilaire



MICA
Environnement

D.R.I.R.E. P.A.C.A.
ANCIENNE CONCESSION DE COUDOUX
(BOUCHES DU RHONE)

PLAN GENERAL DE LA MINE
QUARTIER SAINT HILAIRE

SYSTEME DE COORDONNEES
COORDONNEES LAMBERT
X - 307 800 427 - 626 938
Y - 1 143 300 427 - 1 144 028

0	125	250
Mètres		

ANNEXE 2

**Configurations types de travaux relatives
aux « mouvements de terrain »**

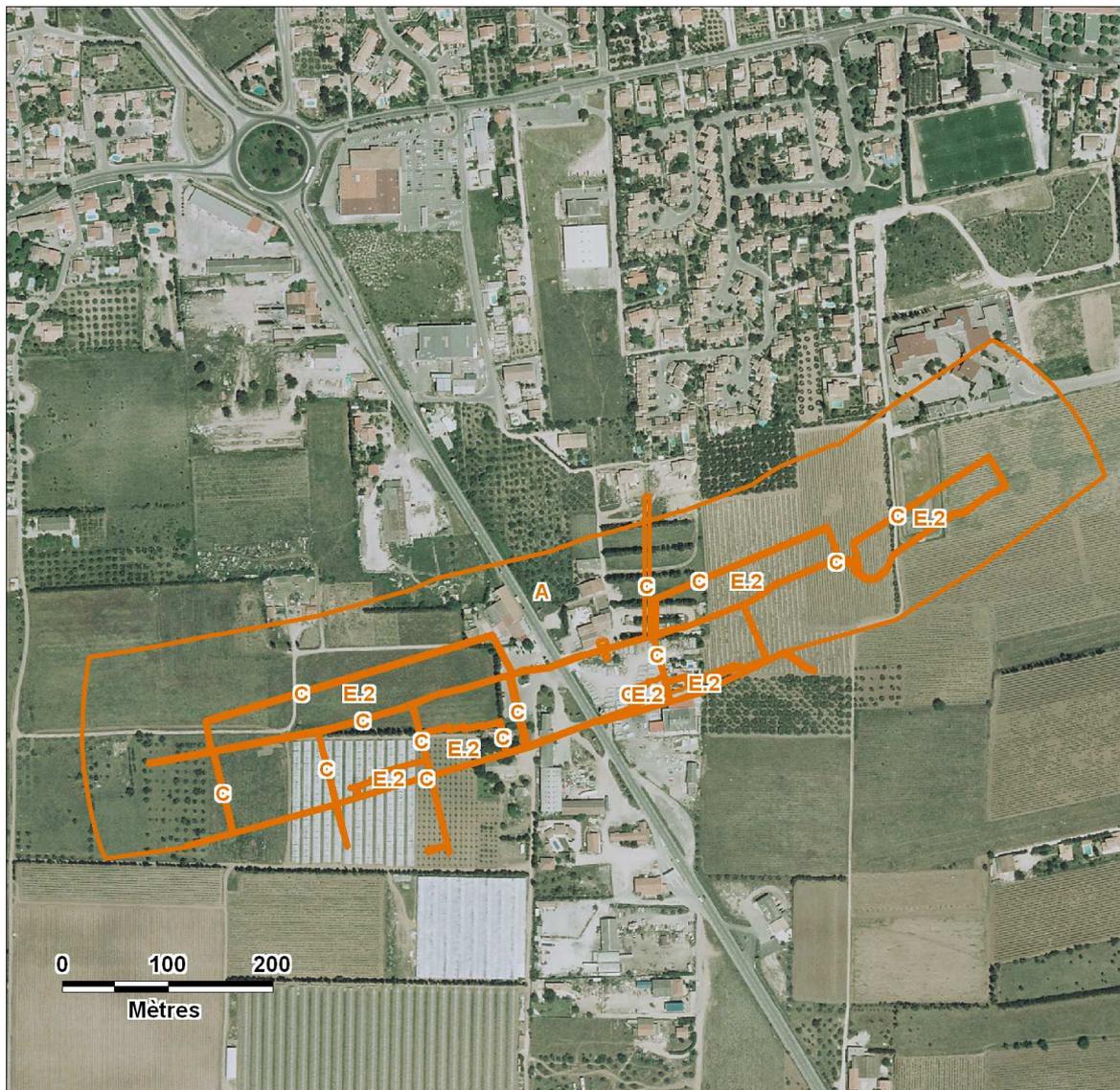


Figure 1 : quartier des Auberges

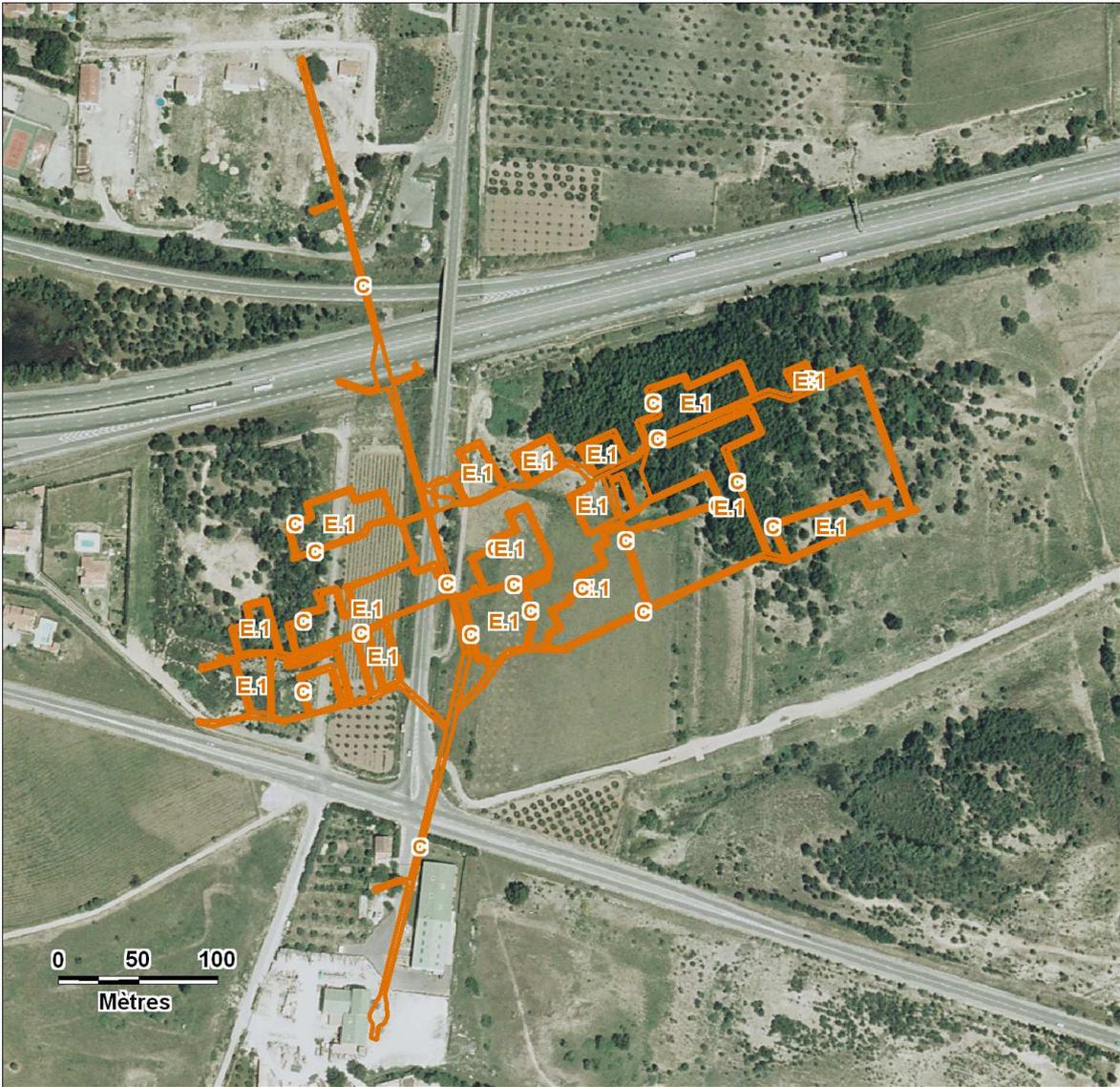


Figure 2 : quartier Saint-Michel

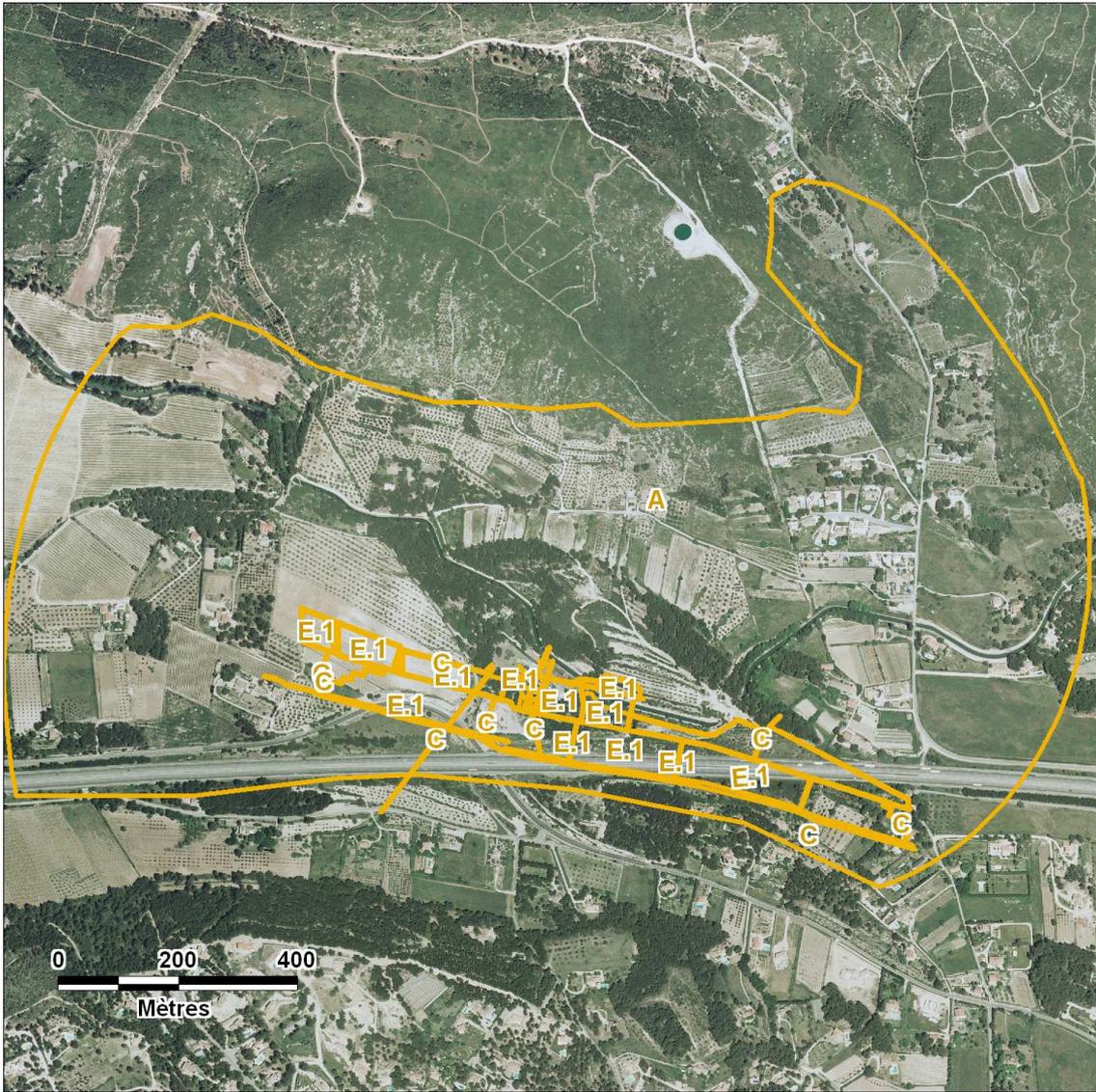


Figure 3 : quartier Saint-Hilaire

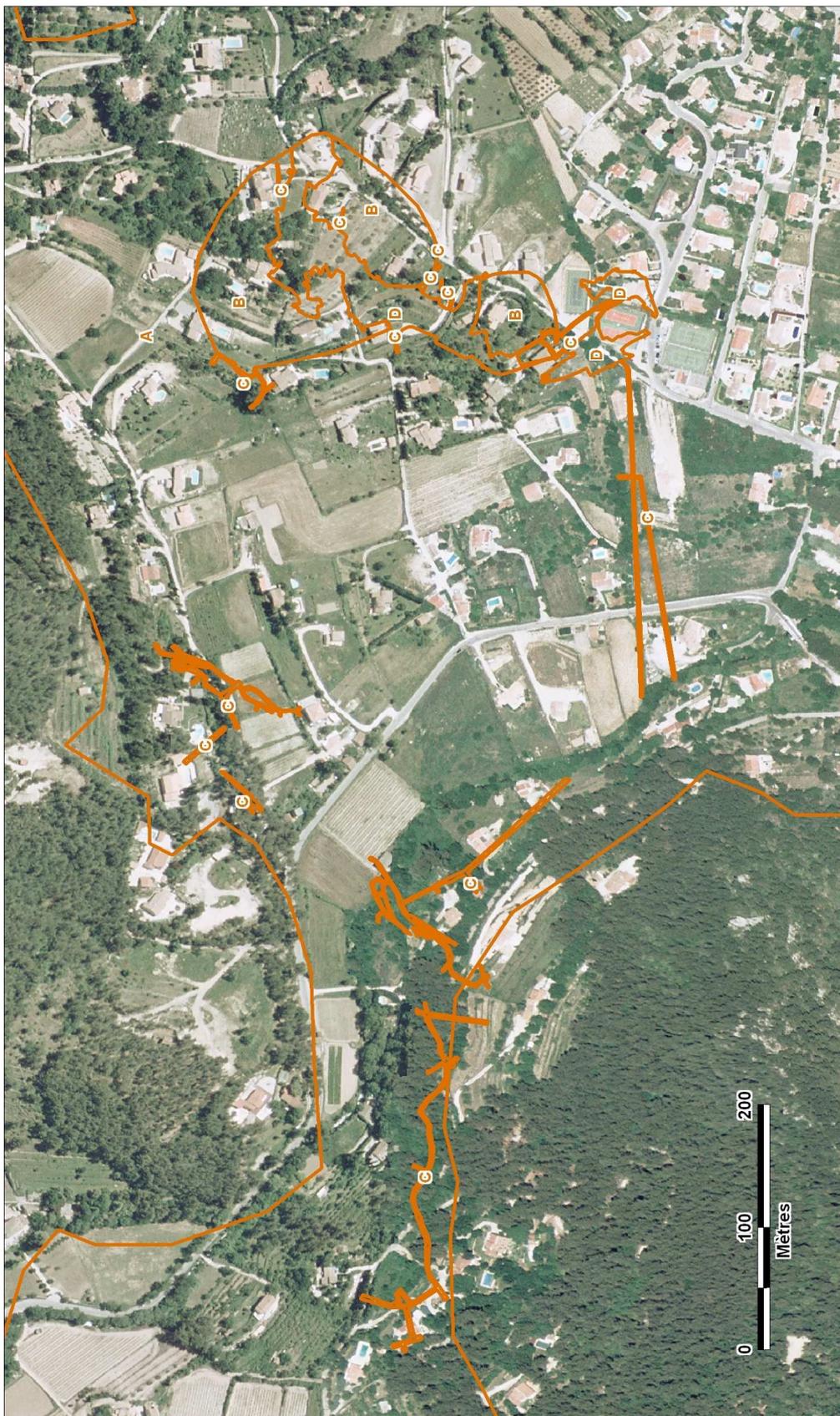


Figure 4 : quartier de Estiennes, des Lagets, de la descenderie de Daurenque et du puits de vèdes

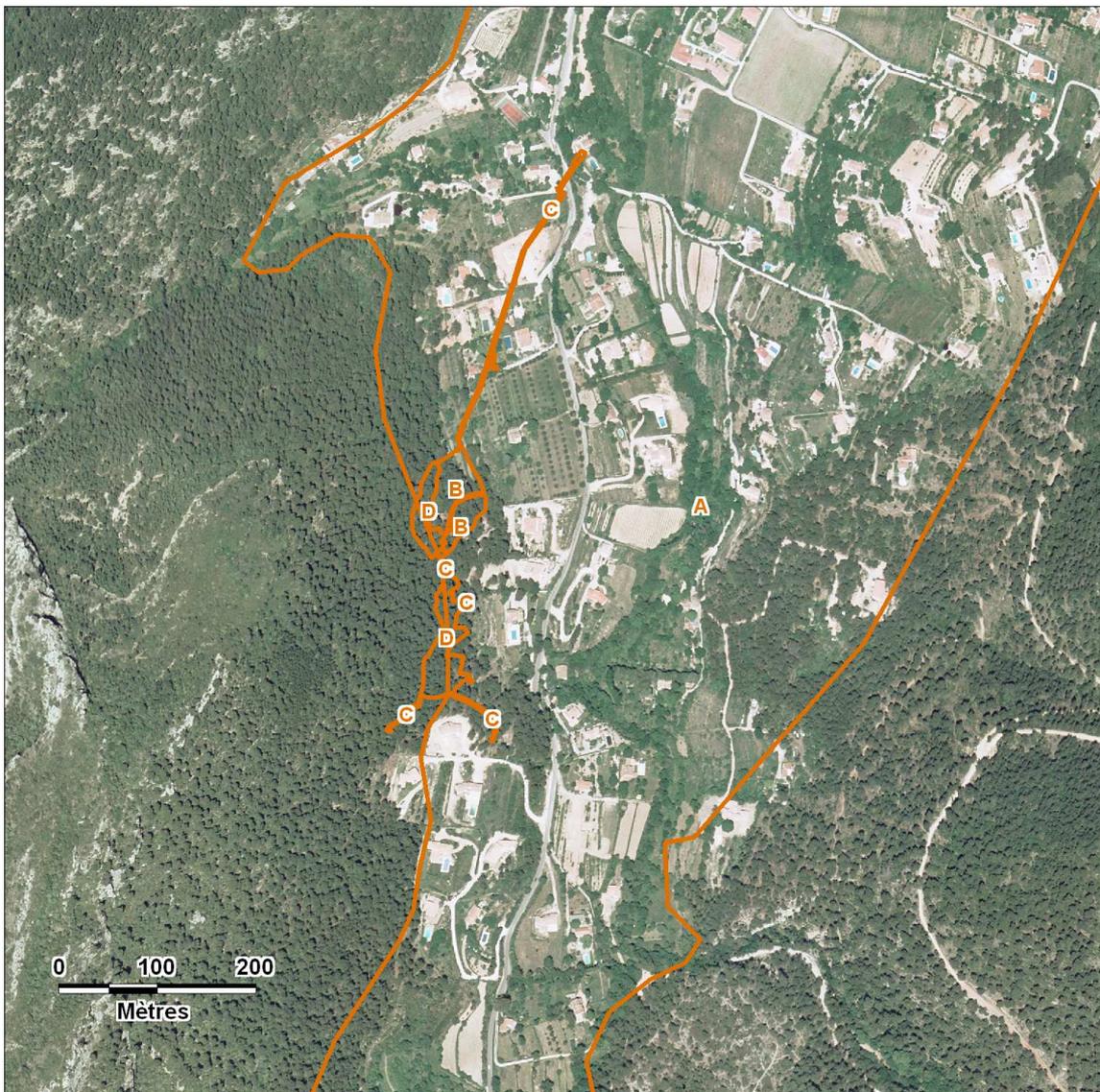


Figure 5 : quartier de Daurenque



Figure 6 : quartier de l'Intendant

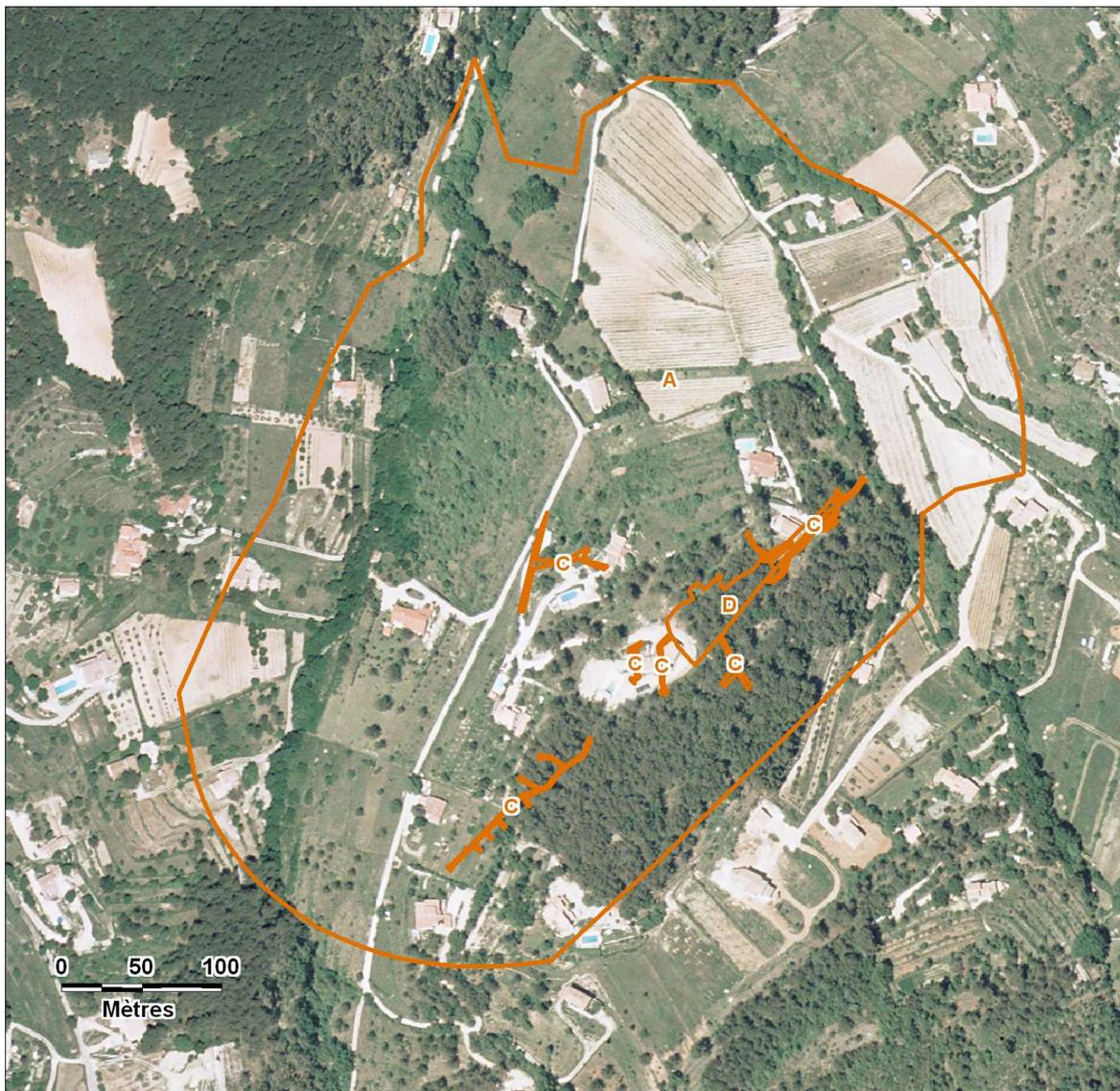


Figure 7 : quartier du Braou

ANNEXE 3

Evaluation et cartographie des aléas

Sommaire

1. Méthode d'évaluation des aléas	1
1.1 <i>Principe.....</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Qualification de l'intensité</i>	<i>1</i>
1.3 <i>Qualification de la probabilité d'occurrence</i>	<i>1</i>
1.4 <i>Qualification de l'aléa.....</i>	<i>2</i>
2. Description et évaluation des aléas « mouvements de terrain ».....	3
2.1 <i>Les effondrements généralisés.....</i>	<i>3</i>
2.2 <i>Les effondrements localisés</i>	<i>6</i>
2.3 <i>Les affaissements</i>	<i>10</i>
2.4 <i>Les tassements</i>	<i>15</i>
2.5 <i>Les glissements.....</i>	<i>17</i>
3. Description et évaluation de l'aléa « émission de gaz en surface ».....	21
4. Zonage et cartographie des aléas	25
4.1 <i>Cartographie de l'aléa mouvements de terrain.....</i>	<i>25</i>
4.2 <i>Cartographie de l'aléa émission de gaz de mine.....</i>	<i>25</i>

1. METHODE D'EVALUATION DES ALEAS

1.1 PRINCIPE

L'évaluation de l'aléa « mouvements de terrain » résultant de la présence de cavités souterraines a pour but d'identifier les zones susceptibles de mettre en péril, à terme, les personnes et les biens exposés en surface afin de les prendre en compte dans l'aménagement du territoire.

A partir des instabilités connues ou prévisibles, établies en fonction des configurations de site et d'exploitation, de leur évolution possible et des différents phénomènes accidentels attendus, on en déduit les « *aléas de référence* » correspondants. L'évaluation de ces aléas résultent classiquement du croisement de l'intensité ou de la gravité du phénomène redouté (dommages matériels ou de pertes humaines et des possibilité d'y remédier) par la probabilité d'occurrence qui lui est associée.

La notion d'aléa de référence est utilisée ici en se plaçant dans une optique d'analyse à long terme. En effet, l'aléa de référence est défini comme « *le plus fort événement historique connu dans le site, sauf si une analyse spécifique conduit à considérer comme vraisemblable à échelle centennale, ou plus en cas de danger humain, un événement de plus grande ampleur* ».

1.2 QUALIFICATION DE L'INTENSITE

L'intensité de chaque aléa peut être hiérarchisée en plusieurs niveaux à partir de critères tels que l'importance des dégâts, séquelles ou nuisances prévisibles pour un phénomène donné en se basant sur les observations et données fournies par l'analyse informative et les retours d'expérience. Cette notion intègre à la fois une hiérarchisation des grandeurs caractérisant les désordres mais également leur potentiel de gravité sur les personnes ou les biens et/ou le coût de parades de prévention. Des exemples de qualification de l'intensité sont donnés dans ce document.

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

1.3 QUALIFICATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE

A chaque aléa doit être également rattaché une « probabilité d'occurrence », ce qui n'est pas sans poser des difficultés dans la prévision des mouvements de terrains, phénomènes non périodiques (contrairement aux séismes ou aux inondations) qui font presque toujours appel à des approches de prévision déterministes.

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

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

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

1.4 QUALIFICATION DE L'ALEA

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

On utilise, à cette fin, une matrice de synthèse dont les principes de constitution sont illustrés dans le tableau suivant, en précisant que chaque site peut donner lieu à des ajustements pour s'adapter à un contexte spécifique.

Classiquement on se limite à trois classes d'aléas : *faible, moyen et fort*.

Prédisposition	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Intensité			
Limitée			
Modérée			
Elevée			

Tableau 1 : Qualification de l'aléa en fonction de l'intensité et de la prédisposition

2. DESCRIPTION ET EVALUATION DES ALEAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

2.1 LES EFFONDREMENTS GENERALISES

Les effondrements généralisés sont exclusivement liés aux exploitations partielles, proches de la surface ou plus profondes, comme, par exemple, les exploitations par chambres et piliers abandonnés.

Définition et effets en surface

Les effondrements généralisés, également appelés effondrements en masse, se manifestent par la rupture spontanée ou par saccades, de tout ou partie d'une exploitation, en affectant la stabilité de la surface sur des étendues pouvant atteindre plusieurs hectares. La hauteur d'effondrement affectant la partie centrale est sensiblement proportionnelle à l'ouverture exploitée et au taux de défrètement¹ et peut atteindre plusieurs mètres. Cette zone centrale est bordée par des fractures franches, ouvertes et sub-verticales, délimitant des « marches d'escalier ». Les conséquences peuvent, ainsi, s'avérer très dommageables pour les personnes et les biens situés en surface.

Ils traduisent une instabilité d'ensemble de l'exploitation résultant généralement d'une extraction trop intensive. Ce sont des phénomènes heureusement très rares mais dont les conséquences sont potentiellement graves par la brutalité de leur caractère. Ils peuvent ainsi s'accompagner de secousses sismiques, parfois détectables à des centaines de kilomètres du secteur concerné. Ils produisent également un effet de souffle susceptible de projeter, sur de grandes distances, des matériaux par les galeries et les puits ouverts et de mettre en péril les personnes et installations se trouvant à proximité.

Les effondrements généralisés peuvent affecter des exploitations profondes comparativement aux effondrements localisés. Leur développement exige également une extension horizontale des travaux suffisante au regard de leur profondeur.

Mécanismes initiateurs

L'effondrement brutal de piliers abandonnés résultant d'une rupture du toit

Les effondrements brutaux exigent une combinaison de critères défavorables à la stabilité d'ensemble qui repose sur une rupture simultanée des piliers et des terrains de recouvrement. Deux conditions sont généralement requises.

- une configuration d'exploitation « fragile » : l'existence de vides importants et la présence de structures peu robustes (piliers sous-dimensionnés, présentant un fort élancement², exploitation à plusieurs niveaux avec une mauvaise superposition des piliers) sont autant de paramètres de prédisposition favorables à une rupture en masse des cavités.

¹ Désigné également de taux d'exploitation

² Rapport de la hauteur à la largeur du pilier

- une concomitance de la rupture des piliers et de celle des terrains de recouvrement : ce phénomène se développe préférentiellement en présence d'un (ou plusieurs) horizon(s) raide(s) dans le recouvrement. Cette raideur , permet de reporter, en tout ou partie, la charge des terrains de surface sur les bords fermes, ce qui soulage (temporairement) les piliers et autorise, indirectement, une exploitation excessive avec un sous-dimensionnement des piliers.

Sous l'effet du temps ou d'une sollicitation différée, les bancs raides du toit peuvent atteindre leur limite élastique et se rompre brutalement. La rupture du toit, par flexion ou cisaillement, le long des bords fermes transmet une surcharge soudaine aux piliers qui se retrouvent brutalement soumis à l'intégralité du poids du recouvrement. Les piliers, très fragiles, se rompent alors de manière simultanée en entraînant le recouvrement dans un mouvement brutal et spontané.

Rupture en chaîne des piliers

La déstabilisation d'un grand nombre de piliers ne se traduit pas inéluctablement par un effondrement brutal accompagné d'une secousse vibratoire importante. L'instabilité peut résulter d'une rupture progressive « en chaîne » des piliers adjacents.

Ce type de manifestation, exige que les piliers aient, dans leur grande majorité, atteint un « état-limite » de stabilité (proche de la ruine). L'évolution d'un facteur déclenchant (eau, altération, vieillissement, surcharge, etc.) peut alors suffire à initier la rupture d'une partie des piliers. En se ruinant, ces derniers induisent un report de charge sur les piliers voisins qui se rompent, à leur tour. Le recouvrement s'effondre alors en suivant le front de rupture souterrain. Le phénomène n'est pas aussi violent que celui décrit ci-dessus mais la cinétique de l'effondrement (quelques minutes à quelques heures) suffit à le rendre potentiellement dangereux pour les personnes et les biens situés dans son emprise lorsque l'amplitude des mouvements prévus en surface est importante.

Qualification de l'intensité

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

Il n'y a donc pas lieu de définir une grandeur de référence pour caractériser l'intensité de ce type de désordre, la classe d'intensité étant, systématiquement, élevée à très élevée, du fait également de l'absence de parades « légères » permettant de s'affranchir des conséquences prévisibles d'un tel phénomène en surface.

Classe d'intensité	Description
Elevée à très élevée	Effondrement en masse de la surface

Tableau 2 : Classes d'intensité de l'aléa « effondrement généralisé »

Qualification de la probabilité d'occurrence

a) Critères de prédisposition communs

Quel que soit le contexte d'exploitation, l'existence d'anciens mouvements de type effondrement généralisé (encore visibles en surface ou décrits dans les archives) contribue souvent à augmenter la prédisposition qu'un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines puisse subir, à l'avenir, d'autres phénomènes sensiblement similaires.

b) Cas des exploitations menées par chambres et piliers abandonnés

La prédisposition d'anciennes exploitations menées par chambres et piliers abandonnés au développement d'un effondrement généralisé dépend de la combinaison de deux prédispositions : la rupture de l'ouvrage souterrain et la rupture des terrains de recouvrement.

Prédisposition de l'ouvrage souterrain à la rupture

La prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain dépend principalement :

- des contraintes s'exerçant au sein des piliers (tributaires notamment du taux de défrètement, de la profondeur des travaux et des conditions d'exploitation des secteurs adjacents à la zone considérée) : « état-limite » de stabilité ;
- d'une configuration d'exploitation fragile favorable à une rupture en masse des piliers (piliers de fort élancement, matériaux fragiles, mauvaises superposition des piliers, etc.) ;
- de l'absence de gros piliers faisant « piliers barrières » susceptibles de bloquer la propagation d'un front d'effondrement ;
- d'autres facteurs tels que la sensibilité des matériaux à l'eau, le comportement du mur (risque de poinçonnement, la présence de failles, etc.).

Prédisposition des terrains de recouvrement à une rupture dynamique

Parmi les principaux facteurs qui vont, en cas de rupture de l'ouvrage souterrain, prédisposer un site à subir un effondrement dynamique et non un affaissement progressif des terrains de surface, on peut citer :

- une extension latérale d'exploitation suffisante au regard de l'épaisseur de recouvrement ;
- la présence d'un (ou de) banc(s) raide(s) au sein du recouvrement susceptible de se rompre de manière dynamique, entraînant dans sa ruine la rupture en masse des piliers sous-jacents (on parlera alors d'effondrement brutal) ;
- l'existence d'un toit ni trop souple ni trop raide, autorisant l'effondrement par séquences, (on parlera alors de rupture en chaîne des piliers) ;
- une profondeur pas trop grande (il est en effet difficile d'imaginer que des travaux situés à des profondeurs supérieures à 500 mètres par exemple puissent provoquer une rupture dynamique de l'ensemble des terrains de recouvrement).

2.2 LES EFFONDREMENTS LOCALISES

Les effondrements localisés sont essentiellement liés aux exploitations partielles, proches de la surface, qu'il s'agisse d'exploitations par chambres et piliers abandonnés, de galeries filantes ou d'exploitations pentées, ainsi qu'aux ouvrages d'infrastructure tels que les puits, les descenderies ou les galeries isolées situées à faible profondeur. Ils peuvent survenir également dans les exploitations dites « totales » si des vides suffisamment importants ont pu subsister.

Définition et effets en surface

Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètre. La profondeur du cratère dépend principalement de la profondeur et des dimensions des travaux souterrains mais il n'est pas rare qu'elle atteigne une dizaine de mètres même si, dans la majorité des cas, elle se limite à quelques mètres. Dans le cas de gisements pentés, l'effondrement peut prendre la forme d'une gouttière ou d'une tranchée allongée dans la direction du plan de la veine.

En fonction du mécanisme initiateur du désordre et de la nature des terrains de subsurface, les parois du cratère peuvent être subverticales ou inclinées, donnant ainsi naissance à une forme caractéristique d'entonnoir d'effondrement.

Les dimensions du désordre et le caractère brutal de sa manifestation en surface font des effondrements localisés des phénomènes potentiellement dangereux lorsqu'ils se développent au droit ou à proximité de secteurs urbanisés.

Mécanismes initiateurs

a) Effondrement par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie: le phénomène de fontis

On parle de « fontis » lorsque le désordre qui affecte la surface résulte de la remontée au jour d'un éboulement initié au sein d'une excavation souterraine (galerie, chambre d'exploitation, etc.). Lorsque la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs résistants et massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface et, 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 « autocomblement », la voûte peut atteindre la surface du sol.

L'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds. Les retours d'expérience menés sur plusieurs bassins miniers ont ainsi montré que, sauf spécificité géologique ou d'exploitation, au-delà d'une cinquantaine de mètres de profondeur (et parfois moins), les anciens vides miniers (dans des gammes d'ouvertures classiques : 2 à 4 ou 5 m) n'étaient plus susceptibles de provoquer ce phénomène en surface.

b) Effondrement par rupture de pilier(s) isolé(s)

Au sein d'une exploitation menée par la méthode des chambres et piliers abandonnés, la ruine d'un (ou de quelques) pilier(s) peut se traduire, en surface, par un effondrement localisé lorsque la profondeur des travaux et la résistance des terrains du recouvrement ne sont pas suffisamment importantes.

La dimension de la zone affectée en surface est généralement plus importante que celle résultant d'un simple fontis mais sensiblement plus réduite que dans le cas d'un effondrement généralisé décrit plus loin. Comme les fontis, les ruptures de piliers isolés sont des phénomènes purement locaux qui ne dépendent pas tant de la géométrie de l'exploitation que de conditions locales défavorables. Ces conditions défavorables peuvent résulter de la méthode d'exploitation ayant conduit, dans certains secteurs, à des extractions locales trop intensives laissant des piliers sous-dimensionnés, fragilisés ou mal superposés. Elles peuvent aussi résulter de paramètres géologiques (zones fracturées ou faillées, venues d'eau, etc.).

Comme les fontis, l'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds.

c) Effondrement par débouillage de puits ou rupture de la tête de puits

Un ancien puits d'exploitation, mal traité (au niveau des recettes) ou mal remblayé (à l'aide de matériaux qui peuvent être remobilisés, notamment en présence d'eau), peut débouiller, c'est-à-dire voir son remblai s'écouler au sein des ouvrages souterrains auquel il est raccordé, avec pour conséquence la formation d'un cratère présentant les mêmes dimensions que la colonne du puits.

Ce débouillage peut, dans certains cas (assez fréquents lorsqu'il s'agit de très vieux puits), s'accompagner, ou être suivi, d'une rupture du revêtement du puits et d'un effondrement des terrains peu compétents environnants, comme le sont généralement les terrains superficiels. Il se produit alors un cône d'effondrement dont les dimensions dépendent de l'épaisseur et des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains.

Par ailleurs, si la tête d'un puits non remblayé est foncée dans des terrains de moindre résistance ou meubles (remblais, sols, roche altérée, etc.), la rupture du cuvelage ou du dispositif de fermeture sous-dimensionné peut entraîner la migration de ces matériaux dans la colonne de puits.

La manifestation en surface peut ainsi se restreindre à un cratère de petite taille (quelques mètres de diamètre au maximum) ou générer des désordres plus importants (diamètre pouvant dépasser une dizaine de mètres). Des effondrements de diamètre beaucoup plus grands sont tout à fait exceptionnels et correspondent généralement à la présence de sables bouillants proches de la surface.

Les travaux de traitement réalisés pour la mise en sécurité peuvent être un critère permettant de diminuer de façon substantielle, voire éradiquer, la prédisposition au débouillage ou à la rupture de la tête du puits. Par exemple, un bouchon autoportant réalisé en tête de puits, conformément à l'état de l'art, paraît être une solution efficace et suffisamment pérenne. En revanche s'il reste ouvert et est simplement recouvert d'une dalle bétonnée, la stabilité du puits n'est pas garantie contre les risques de rupture du cuvelage et des bords susceptibles de s'opérer à long terme par altération ou vieillissement (surtout si la largeur de la dalle est insuffisante).

d) Débouillage d'un chantier penté remblayé

Ce mécanisme, susceptible d'affecter les couches fortement pentées (filons, couches en dressant), est assez similaire à celui d'un débouillage de puits. Lorsque l'exploitation s'est développée jusqu'en surface et a donné lieu à un remblayage des vides, la rupture d'un barrage d'arrêt souterrain peut induire un débouillage des produits de comblement vers des vides plus profonds. Cet écoulement induit un effondrement en surface dont la forme et les dimensions dépendent directement des conditions d'exploitation.

e) Combustion

Dans certaines configurations très spécifiques, la combustion de matières carbonées présentes au sein de travaux souterrains ou d'ouvrages de dépôt d'anciennes mines de combustibles solides, peut générer la formation de petites cavités proches de la surface susceptibles de s'effondrer. Dans un tel scénario, les conséquences potentielles sur les victimes sont aggravées du fait de la température des terrains incandescents ou des vapeurs émises (pouvant atteindre plusieurs centaines de degrés).

Qualification de l'intensité

Le phénomène d'effondrement localisé est de nature à porter atteinte à la sécurité des personnes et des biens présents en surface.

C'est principalement le *diamètre de l'effondrement* qui va influencer sur les conséquences du phénomène vis-à-vis de la sécurité des personnes et des biens présents dans la zone d'influence du désordre. C'est donc ce paramètre que nous retenons comme grandeur représentative. La profondeur du cratère influence sur la dangerosité du phénomène mais, souvent délicate à prévoir, notamment pour ce qui concerne les fontis et les débouillages de puits, elle n'est pas retenue a priori.

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 et la nature des terrains constituant le recouvrement dont le rôle est prépondérant sur les dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface.

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement Ø
Limitée	Ø < 3 m
Modérée	3 m < Ø < 10 m
Elevée	Ø > 10 m

*Tableau 3 : Classes d'intensité de l'aléa « effondrement localisé »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

Quel que soit le contexte d'exploitation, deux critères fondamentaux gouvernent la prédisposition d'un site au développement d'effondrements localisés :

- l'existence d'anciens mouvements de type « effondrement localisé », encore visibles en surface ou décrits dans les archives ou encore leur survenance sur un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation similaires ;
- la présence de terrains déconsolidés en surface, notamment sur une grande épaisseur ;
- la profondeur des travaux.

Les principaux facteurs de prédisposition spécifiques à certaines configurations de travaux sont les suivants :

a) Eboulement de toit d'une chambre ou d'une voûte de galerie isolée

La prédisposition d'un site au développement d'un fontis à l'aplomb dépend de la combinaison de deux processus : la rupture de l'ouvrage souterrain en lui-même et la remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

Facteurs de prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain :

- la largeur (ou portée) du toit des chambres ou des galeries concernées ;
- la nature et l'épaisseur des premiers bancs rocheux, l'existence de soutènement.

Facteurs de prédisposition du recouvrement conditionnant la remontée de fontis en surface :

- facteurs favorisant la stabilisation du phénomène par formation d'une voûte stable : présence de bancs homogènes suffisamment épais et résistants (par exemple : présence et surtout épaisseur des terrains jurassiques recouvrant les terrains primaires) ;
- concernant la stabilisation du phénomène par autocomblement : volume des vides résiduels disponibles au sein des vieux travaux, nature des terrains de recouvrement (épaisseur, comportement et coefficient de foisonnement).

Concernant les galeries minières isolées de dimensions classiques (entre 2 et 3 m d'ouverture), le retour d'expérience semble montrer qu'au-delà d'une profondeur d'une cinquantaine de mètres, la probabilité de remontée de fontis jusqu'en surface devient négligeable.

b) Effondrement par rupture de pilier(s) isolé(s)

La prédisposition de piliers à la rupture dépendra principalement :

- des contraintes s'exerçant au sein des piliers (tributaires notamment du taux de défruitement local et de la profondeur des travaux) ;
- des caractéristiques des piliers concernés (résistance du pilier, sensibilité à l'eau, section, élancement, forme, régularité, présence de failles ou d'accidents structuraux, mauvaise superposition, etc.).

c) Rupture de tête de puits ou débouillage de remblais

Les facteurs identifiés dépendent des deux mécanismes d'instabilité qui peuvent affecter une ancienne tête de puits :

- effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (cuvelage, plancher, voûte en briques, dalle, bouchon, etc) : caractéristiques de cette structure, altérabilité dans le temps, nature du cuvelage, nature résistance des terrains encaissants ;
- débouillage d'un puits remblayé : conditions hydrogéologiques (remontée des eaux, battements de nappe), présence de galeries connectées au puits et non obturées par des serrements, ancienneté du remblayage, facteurs défavorables (vibrations, surcharges, variations du niveau de la nappe, etc.).

d) Risque de rupture d'un stot de protection ou d'une tête de filon (gisement penté)

Les facteurs qui gouvernent la prédisposition d'un stot de protection ou d'une tête de filon à subir des effondrements localisés par éboulement de la couronne sont principalement de deux ordres :

- dimensions et résistance des stots (épaisseur, présence d'extraction à ciel ouvert en sub-surface, degré d'altération, présence de failles ou d'accidents tectoniques, etc.) ;
- caractéristiques du gisement (pendage, nature des terrains encaissants, interfaces entre le filon et les épontes, etc.).

2.3 LES AFFAISSEMENTS

Les phénomènes d'affaissement sont principalement liés aux exploitations totales en plateau, menées à grande profondeur et présentant des extensions horizontales importantes, qu'il s'agisse d'exploitations par tailles foudroyées ou remblayées (plus ou moins partiellement), mais aussi d'exploitations partielles ou pentées (ou éventuellement filoniennes) ayant laissé des vides résiduels importants après extraction.

Définition et effets en surface

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, sans rupture cassante importante (des fractures ouvertes sont possibles dans la zone en extension, située sur la bordure de l'affaissement).

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 (foudroyage ou 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).

Comme la plupart des autres phénomènes d'instabilité, les affaissements miniers ne se limitent pas au strict aplomb des contours de travaux souterrains. La limite extérieure de la cuvette d'affaissement en surface est déterminée par l'angle (« angle d'influence ») défini en profondeur par la droite verticale correspondant à la bordure souterraine de l'exploitation et la droite virtuelle matérialisant en surface le point où l'affaissement est considéré comme nul ou négligeable. En fonction de la nature, de l'épaisseur des terrains de recouvrement et de la présence d'accidents géologiques, l'angle d'influence varie classiquement entre une dizaine et une quarantaine de degrés en plateure. L'existence d'un pendage influence également directement sur les valeurs de l'angle d'influence, tout comme la présence d'accidents géologiques majeurs (failles).

Plus les travaux miniers sont profonds, plus la cuvette d'affaissement est étendue et étalée en surface. Toutes choses égales par ailleurs, les affaissements verticaux et les déplacements horizontaux diminuent aussi avec la profondeur d'exploitation.

Mécanismes initiateurs

a) Cas des exploitations en plateure (pendage < 20°)

Toute exploitation par tailles ou par défilage, quelle qu'en soit la profondeur, induit un éboulement ou foudroyage du toit des travaux souterrains. Cet éboulement génère la formation de blocs de formes et de tailles variables qui, en s'enchevêtrant, permet la persistance de vides résiduels plus ou moins importants et, de fait, une augmentation, souvent sensible, entre le volume occupé par les éboulis et celui qu'occupaient les terrains en place.

Ce phénomène, appelé « foisonnement » permet aux matériaux éboulés de remplir la cavité d'exploitation ainsi que le volume des terrains initialement en place ce qui a pour conséquence de stopper le processus d'éboulement, les terrains sus-jacents trouvant appui sur le tas d'éboulis. Ces éboulis présentant une forte compressibilité, les bancs rocheux sus-jacents préalablement découpés par les discontinuités naturelles qui les affectent fléchissent progressivement avec, pour conséquence, la formation d'une cuvette en surface.

L'amplitude des affaissement étant directement proportionnel à l'ouverture des travaux, il n'est pas rare, durant la période d'exploitation, que les terrains de surface soient descendus de plusieurs mètres, voire, plus exceptionnellement, de plusieurs dizaines de mètres.

Le retour d'expérience disponible sur différents bassins miniers français et européens indique que la quasi-totalité de l'affaissement se produit durant l'extraction et que la durée de l'affaissement résiduel se limite à quelques années. Les déformations résiduelles induites après l'exploitation sont, en général, très limitées et les conséquences sur infrastructures de surface négligeables à nulles.

Au-delà, les risques de reprise d'affaissement (ou de remontée de la surface du sol) résultent de variations importantes des conditions environnementales (ennoyage ou dénoyage des travaux, application de surcharges en surface) et affectent principalement les exploitations les moins profondes. Ils correspondent, de fait, pleinement au phénomène de tassement décrit plus loin.

b) Cas des exploitations en gisements pentés (sédimentaires ou filoniens)

Les exploitations en couche pentée se caractérisent par une dissymétrie de la cuvette d'affaissement plus ou moins importante en fonction du pendage. L'existence d'un pendage influe, en effet, directement sur les valeurs des angles d'influence en amont et en aval (schéma ci-dessous).

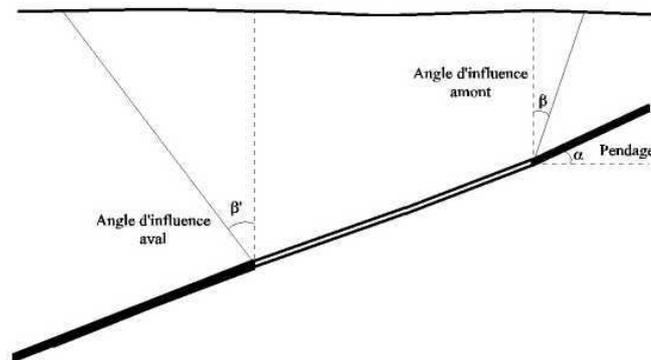


Schéma montrant la dissymétrie des angles d'influence amont et aval en gisement penté

Quand la profondeur d'exploitation devient importante, l'influence de l'angle aval se traduit généralement par une large extension de la cuvette d'affaissement mais, en contrepartie, par des amplitudes d'affaissement vertical et des déplacements différentiels horizontaux plus faibles. En revanche, coté amont les déplacements augmentent sensiblement.

Notons, par ailleurs, que contrairement aux exploitations totales par tailles foudroyées ou dépilage, l'occurrence d'affaissements à l'aplomb d'exploitations par chambres et piliers abandonnés ou par chambres laissées vides (telles que les chambres magasins) dépend directement de la rupture des cavités (éboulement). Des phénomènes d'affaissement peuvent alors être initiés plusieurs années ou décennies après la fermeture des travaux si les structures souterraines sont suffisamment résistantes pour demeurer stables jusqu'à ce terme.

c) Cas des ouvrages en combustion

L'échauffement accidentel ou l'auto-échauffement de la matière organique persistant au sein d'anciens travaux souterrains ou d'ouvrages de dépôt peut initier la combustion du minerai dans le cas des mines de combustibles solides (charbon, lignite, schistes bitumineux...).

Cette combustion induit la « disparition » de matériau et, de fait, l'apparition possible d'affaissements en surface. La lenteur du mécanisme et les volumes généralement limités de vide créés expliquent que les manifestations en surface se traduisant, à quelques exceptions près, par la création de cuvettes d'affaissements peu importantes, tant en terme d'amplitude des mouvements verticaux qu'en terme de superficie des cuvettes.

Ces affaissements limités peuvent s'observer aussi bien en surface des verses ou terrils en combustion qu'à l'aplomb d'anciens travaux souterrains soumis au phénomène de combustion spontanée. En sus des mouvements de terrain au sens strict, d'autres types de risques ou nuisances, bien plus critiques, peuvent affecter les personnes et biens environnants (incendies, accumulation de gaz toxiques), ou être à l'origine de sur-accidents (proximité de conduites de gaz, présence d'anciennes munitions enfouies au sein du dépôt ...).

Qualification de l'intensité

Les caractéristiques qui matérialisent les dégâts les plus dommageables pour les biens situés en surface dus aux phénomènes d'affaissement progressif, sont généralement les déformations différentielles horizontales et surtout les mouvements de mise en pente du sol. Nous retiendrons donc ces deux paramètres pour discriminer les classes d'intensité.

La définition des classes d'intensité s'appuie alors principalement sur la notion d'effets prévisibles sur les structures même si, au-delà de certaines valeurs de déformations, les désordres infligés aux bâtiments peuvent s'avérer de nature à mettre en péril la sécurité des personnes qui y résident.

Les principaux facteurs susceptibles d'influencer la valeur de ces deux paramètres sont essentiellement :

- la géométrie des travaux (largeur exploitée des panneaux) ;
- l'ouverture des chantiers souterrains (tailles) ;
- la méthode d'exploitation (taux de défrusement, etc.) ;
- le pendage des couches (au delà de 20° ou 30°) ;
- la profondeur des panneaux ;
- la nature des terrains de recouvrement, la présence de failles, la topographie de surface, etc.

Classe d'intensité	Déformations différentielles horizontales ϵ (en mm/m)	Mise en pente ϵ (en %)
Limitée	$0 < \epsilon < 10$	$0 < \epsilon < 2$
Modérée	$10 < \epsilon < 30$	$2 < \epsilon < 6$
Elevée	$\epsilon > 30$	$\epsilon > 6$

*Tableau 4 : Classes d'intensité de l'aléa « affaissement »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

Quel que soit le contexte d'exploitation, l'existence d'anciens mouvements de type « affaissement progressif » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives) contribue souvent à augmenter la prédisposition qu'un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines puisse subir, à l'avenir, d'autres phénomènes sensiblement similaires (retroanalyse).

a) Exploitations menées par foudroyage

A l'aplomb d'anciennes exploitations totales foudroyées, il est admis que la phase d'affaissement résiduel perceptible en surface se limite aux quelques années suivant l'arrêt des travaux (de l'ordre de 5 ans, au maximum pour les mines de charbon ou de fer, à l'exception des mines de sel). Si cet arrêt est récent (moins de 5 ans pour certains bassins miniers), la probabilité de voir se développer un affaissement résiduel pourra être considérée comme réelle, dans le cas contraire, elle pourra être négligée (on se référera alors plutôt à un aléa « tassement » pour caractériser le devenir de la zone).

La prédisposition de l'aléa « affaissement progressif » à l'aplomb d'exploitations totales constitue donc une exception, en ce sens que l'existence d'anciens affaissements ne prédispose en rien un site à subir d'autres désordres sensiblement similaires à l'avenir.

b) Exploitations partielles menées par chambres et piliers

Contrairement aux exploitations foudroyées qui ont pour conséquence directe (voire pour objectif) de provoquer l'affaissement de la surface, les exploitations partielles par chambres et piliers abandonnés n'ont d'intérêt que de garantir la stabilité de la surface contre tout risque d'affaissement ou d'effondrement.

La prédisposition d'un site face au risque d'affaissement à l'aplomb d'anciennes exploitations par chambres et piliers abandonnés dépend donc de la combinaison de deux prédispositions : la rupture inopinée de l'ouvrage souterrain et le mode de comportement des terrains de recouvrement.

La prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain, facteur essentiel du déclenchement du phénomène, repose principalement sur l'état des contraintes de sollicitation qui s'exercent sur les piliers (tributaires notamment du taux de défrètement et de la profondeur des travaux), des caractéristiques de résistance des piliers (résistance, mais aussi taille, forme, régularité, etc.) et d'autres facteurs tels que la sensibilité des matériaux à l'eau, la présence de failles, etc.

c) Exploitations pentées et filoniennes (pour mémoire)

Dans ce type d'exploitations, auxquelles se rattachent les mines de fer de l'Ouest, c'est principalement la stabilité des stots, dalles ou piliers laissés en place pour assurer la tenue des épontes qui gouverne la prédisposition d'une exploitation filonienne à subir des affaissements en surface.

2.4 LES TASSEMENTS

Les phénomènes de tassement affectent essentiellement les anciennes exploitations totales (surtout les tailles ou dépilages foudroyés) ou les ouvrages de dépôts (terrils, verses, bassins de décantation, etc.).

Définition et effets en surface

On parle de tassements lorsque les mouvements du sol ne résultent pas de l'extraction ou de la disparition de minerai (par dissolution) mais s'expliquent par la recompaction d'un massif meuble (amas de matériaux granulaires) ou affecté par les travaux souterrains (terrains foudroyés).

Sous l'action de perturbations extérieures (applications de surcharge en surface, mouvements de nappes au sein des terrains concernés, sollicitations vibratoires, etc.) ou sous l'effet de leur propre poids, les terrains sont amenés à se tasser et donner naissance à des mouvements de faible ampleur en surface (sauf exception, l'amplitude maximale est d'ordre décimétrique). Ces tassements différentiels sont néanmoins susceptibles d'engendrer des dégâts sur les bâtiments et les infrastructures, sans mettre en péril les personnes.

Ce type de manifestation peut avoir des effets assez similaires au phénomène naturel de retrait/gonflement des sols argileux, sous l'effet de battements de nappe ou de variations du profil hydrique dans le proche sous-sol. La différence entre les deux n'est d'ailleurs pas toujours aisée à établir dans des zones sensibles à ces deux types de phénomènes.

Mécanismes initiateurs

a) Anciennes exploitations menées par foudroyage

Même si tous les terrains exploités par foudroyage (exploitation par taille ou dépilage) sont sujets, durant la phase des derniers mouvements résiduels, au développement de tassements, les manifestations les plus perceptibles se développent à l'aplomb de secteurs peu profonds (quelques dizaines de mètres sous la surface).

Dans ces conditions, en effet, le poids des terrains surmontant les anciens chantiers miniers n'est pas suffisant pour garantir une recompaction complète des terrains foudroyés au cours des années suivant les travaux d'extraction. Ceci permet la persistance d'une porosité artificielle élevée. Sous l'effet de perturbations extérieures, une compaction différée des terrains peut être constatée. Lorsque cette compaction se développe de manière différentielle suivant les secteurs, des désordres peuvent affecter les structures non adaptées, situées en surface.

b) Tassements sur les dépôts, découvertes ou puits remblayés

Les stériles d'exploitation, mis en dépôt par voie sèche sous forme de terrils ou de verses, ainsi que les remblais des exploitations à ciel ouvert (découvertes), peuvent présenter une composition assez hétérogène par la nature ou la granulométrie des matériaux. Leur mise en place, assurée souvent par simple déversement, ne garantit pas leur compaction complète. L'effet de fortes surcharges appliquées en surface ou la modification des conditions hydrauliques peut accélérer les tassements au droit des dépôts ou des secteurs remblayés.

c) Soulèvement des terrains

A l'arrêt des pompes d'exhaure, mis en œuvre durant l'exploitation, la resaturation des terrains pendant l'ennoyage peut, dans certaines configurations, se traduire par une remontée lente et très étalée de toute la zone précédemment dénoyée. L'amplitude des mouvements verticaux observés peut atteindre quelques centimètres. Comme pour le phénomène de tassement, il s'agit d'une remobilisation des terrains affectés par les travaux miniers, postérieure à l'exploitation. Au regard des retours d'expérience disponibles, les mouvements de ce type sont très étalés dans l'espace et ne provoquent pas d'effets visibles sur les bâtiments traditionnels.

Qualification de l'intensité

Les éventuelles nuisances initiées par le phénomène de tassement résultent principalement du développement de tassements différentiels. En présence de tassements différentiels, c'est principalement l'amplitude verticale de ces mouvements qui conditionne l'intensité du phénomène prévisible.

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

Classe d'intensité	Description	Valeur
Très limitée	Tassements différentiels limités	$cm < t_d < dm$
Limitée	Tassements différentiels importants	$t_d > dm$

*Tableau 5 : Classes d'intensité de l'aléa « tassements »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

a) Critères de prédisposition communs

Quel que soit le contexte d'exploitation, trois critères fondamentaux gouvernent la prédisposition d'un site au développement de tassements :

- l'existence d'anciens mouvements de type « tassements » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives). Le retour d'expérience peut montrer la prédisposition d'un site comparable à subir des phénomènes sensiblement similaires ;
- la modification des conditions hydrauliques (remontée de nappe, eaux de surface et souterraines rupture de canalisation, obturation de drains, etc.) ;
- l'application de fortes surcharges en surface dans le cadre d'un aménagement du site (constructions, entreposage, etc.).

b) Anciennes exploitations menées par foudroyage

La profondeur des anciens travaux constitue l'un des principaux facteurs de prédisposition au développement de tassements perceptibles en surface à l'aplomb d'anciennes exploitations totales : plus les travaux sont profonds moins les tassements sont importants. La limite de profondeur en deçà de laquelle l'intensité des effets est considérée comme négligeable est souvent prise autour de 50 mètres (selon les configurations spécifiques rencontrées).

c) Dépôts, découvertes ou puits remblayés

Parmi les principaux facteurs de prédisposition, on peut citer :

- l'épaisseur du dépôt ;
- la nature et la granulométrie des matériaux déposés ;
- la méthode de mise en place du dépôt (avec ou sans compactage) ;
- l'âge de l'ouvrage.

d) Remontée des terrains

La remontée de la surface qui accompagne la remontée de nappe après l'arrêt des pompages d'exhaure s'effectue sur des secteurs très étendus, engendrant ainsi des mouvements très étalés. La prédisposition au développement de tassements différentiels dommageables sera donc, dans l'immense majorité des cas, très faible. Seules des configurations géologiques et/ou d'exploitation exceptionnelles et défavorables contribueront donc à générer des nuisances sur les biens pouvant être imputées à ce type de mouvements.

2.5 LES GLISSEMENTS

Les mouvements de pente superficiels ou profonds, désignés sous les termes de reptations, ravinements, glissements superficiels ou glissements profonds en fonction des processus et volumes de matériau mis en jeu, constituent les désordres les plus couramment observés le long des flancs des ouvrages de dépôts (terrils, digues et bassins de décantation, etc.) ou des versants de découvertes creusées en roche meuble.

Ces divers mouvements de pente sont classiquement différenciés, selon leur importance, en glissements superficiels et glissements profonds.

2.5.1 Les glissements superficiels

Définition et effets en surface

Les mouvements de pente superficiels (reptations, ravinements, glissements) se manifestent principalement, lorsque les flancs des dépôts sont trop raides, par des glissements pelliculaires, le creusement de rigoles de ravinement parfois profondes et par l'épandage de matériau en pied de talus. Les matériaux érodés s'éboulent le long la pente et finissent par s'accumuler en bourrelets ou amas. Il s'agit de phénomènes généralement lents qui mettent en jeu des volumes limités de matériau (quelques dizaines de m³).

Si ce type de phénomènes induit fréquemment des nuisances paysagères importantes, il est relativement rare que des risques pour les personnes et les biens en résultent directement, tant en pied qu'en crête de talus. Les éléments éboulés peuvent toutefois contribuer à affecter l'écoulement de cours d'eau situés en aval immédiat du pied et induire ainsi, indirectement des nuisances sur les terrains alentours.

Néanmoins, ces instabilités doivent faire l'objet d'une attention toute particulière le long des flancs de digues de rétention de résidus liquides dont la rupture entraînerait un processus de glissement de plus grande ampleur.

Les principaux facteurs favorisant le développement de mouvements de pente superficiels sont :

- l'absence d'un système de drainage et d'écoulement maîtrisé des eaux ou un manque d'entretien du système de drainage et d'écoulement ;
- la nature des flancs de talus : les désordres apparaissent préférentiellement le long des flancs peu végétalisés, contenant une proportion importante de particules fines ;
- les sollicitations dynamiques (séismes, vibrations), le développement de certaines activités humaines.

Qualification de l'intensité

L'intensité du phénomène dépend principalement du volume de matériau mis en mouvement qui reste, dans tous les cas, limité. Ce type de désordre peut engendrer des dégradations aux constructions exposées sans mettre en danger les personnes.

Les principaux facteurs susceptibles de jouer sur le volume de matériau mis en mouvement, sont : la nature et la granulométrie des matériaux constituant le talus, la morphologie de la pente, la végétation, l'intensité des ruissellements, l'existence ou non de mesures préventives d'aménagement.

Classe d'intensité	Description	Volume mis en jeu
Très limitée	Reptations, ravinements	quelques m ³
Limitée	Glissements superficiels, ravinements importants	De 10 à 100 m ³

Tableau 6 : Classes d'intensité de l'aléa « glissement superficiel » (valeurs purement indicatives)

Qualification de la probabilité d'occurrence

Les principaux facteurs qui contribuent à augmenter la prédisposition d'un talus aux glissements ou mouvements de pente superficiels sont essentiellement :

- l'existence d'anciens mouvements de ce type sur le site ou un autre site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation similaires ;
- la topographie et la morphologie des flancs ;
- la nature des matériaux constituant le talus ;

- une mauvaise gestion des eaux de surface ou la dégradation du dispositif de drainage préexistant (rupture de canalisation, drains bouchés, canaux de ruissellement remplis par des éboulis, etc.) ;
- les activités humaines (vibrations, surcharges par dépôts, etc.) et autres facteurs aggravants (séismes).

2.5.2 Les glissements profonds

Définition et effets en surface

On appelle glissement, le mouvement d'une masse de terrain le long d'une zone de rupture définie par une surface circulaire, plane ou autre et dont la vitesse de déplacement, en phase critique, varie fréquemment de quelques millimètres à quelques mètres par heure. Ce type de phénomène est susceptible d'affecter aussi bien les ouvrages de dépôts que les flancs d'ouvrages creusés en roche tendre. Dans le cas d'un ouvrage de dépôt (cas d'un bassin de décantation), l'instabilité prend généralement la forme d'un glissement circulaire ou « en loupe ».

Les volumes concernés peuvent s'avérer importants. Ils se répandent vers l'aval sous forme de cônes d'épandage et peuvent être à l'origine de la dégradation des éventuels bâtis et ouvrages situés en pied de talus.

La rupture d'un flanc de talus intervient lorsque les forces motrices (de pesanteur et hydrauliques) qui tendent à le mettre en mouvement deviennent supérieures aux forces résistantes (résistance au cisaillement des matériaux) qui s'opposent pour leur part aux déformations et aux glissements des pentes. C'est généralement le développement de perturbations affectant les conditions environnementales caractérisant le talus qui constitue l'élément déclencheur de la rupture.

Parmi les diverses perturbations possibles, les plus à craindre sont :

- l'affaiblissement du pied de talus, par le prélèvement de matériaux, l'érosion par les eaux en particulier dans le cas d'un cours d'eau longeant le dépôt ou la présence d'anciens travaux miniers peu profonds non stabilisés ;
- la déstabilisation d'origine hydraulique, dans le cas d'un dépôt ou d'un bassin de décantation maintenu hors d'eau par drainage. Si dans la plupart des configurations, le dépôt est constitué de matériaux perméables et convenablement drainés, certaines modifications du régime d'écoulement des eaux (obturation ou rupture d'un drain) peuvent initier la présence d'eaux stagnantes à l'interface dépôt - terrain d'assise ou la formation de zones marécageuses en pied de dépôt.

Qualification de l'intensité

C'est encore le volume des matériaux mis en mouvement qui influe sur l'intensité du phénomène en rattachant les classes d'intensité à l'importance des effets potentiels sur les biens (dommages) surtout si, dans certaines circonstances défavorables, les dégâts infligés aux bâtiments sont de nature à mettre en péril la sécurité des personnes qui y résident.

Les principaux facteurs d'influence sont les mêmes que ceux des glissements superficiels : nature et granulométrie des matériaux, hauteur et morphologie de la pente, existence ou non de mesures d'aménagement, etc.

Classe d'intensité	Description	Volume mis en jeu
Modérée	Glissements profonds	100 à 5 000 m ³
Elevée	Glissements majeurs	> 5 000 m ³

*Tableau 7 : Classes d'intensité de l'aléa « glissement profond »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

En complément des facteurs de prédisposition déjà examinés dans le cas des glissements superficiels, nous pouvons citer plus spécifiquement :

- la forme et la pente du talus : présence de banquettes, pente moyenne du flanc, l'aspect du déversement des dépôts, etc. ;
- la présence de signes traduisant l'activité des mouvements déjà initiés (fissures de décompression, bourrelets en pied, arbres penchés ou tordus à leur base, etc.) ;
- la présence d'anciens travaux miniers souterrains au droit du talus susceptibles de se rompre et d'engendrer la déstabilisation du flanc de fosse ou des terrains d'assise supportant l'ouvrage de dépôt ;
- l'éventuelle modification des conditions hydrauliques locales (saturation des terrains, affaiblissement de la butée de pied en cas de crues sévères, altération du dispositif de drainage ou d'aménagement des écoulements, création de bassins de décantation, etc.).

3. DESCRIPTION ET EVALUATION DE L'ALEA « EMISSION DE GAZ EN SURFACE »

Définition et effets en surface

Les émissions de gaz de mine en surface sont parfois susceptibles d'engendrer des dangers pour les personnes et les biens. Elles ne concernent que les exploitations souterraines qui réunissent trois conditions essentielles :

- la présence de vides provenant des travaux d'extraction (chambres abandonnées, chantiers partiellement remblayés ou foudroyés) ou des ouvrages d'infrastructures (galeries, puits) qui constituent un réservoir souterrain ;
- la présence de gaz dangereux ;
- la possibilité d'accumulation et de migration de ces gaz, à des teneurs significatives, vers la surface.

Le gaz de mine qui était dilué et évacué par la ventilation, lors de l'exploitation, est, à son arrêt, piégé dans les vides miniers, s'ils ne sont pas ennoyés en totalité par la remontée des eaux. Il peut alors s'accumuler à des concentrations élevées en étant plus ou moins confiné.

Le gaz accumulé peut, sous certaines conditions (liées au gradient de pression), migrer en quantité significative vers la surface, au travers d'anciens ouvrages (puits, descenderies, galeries d'accès, sondages..) si ceux-ci sont plus ou moins bien obturés, mais aussi au travers des terrains de recouvrement.

Suivant la nature et la composition de ce gaz de mine³, les émissions gazeuses en surface peuvent présenter plusieurs risques ou nuisances vis-à-vis des personnes et des biens. On retiendra notamment les risques d'asphyxie, d'intoxication ou d'irradiation et, enfin, le risque d'inflammation ou d'explosion. Ces risques sont accrus lorsque le gaz de mine se trouve être confiné, c'est-à-dire peu ou pas dilué. Ils sont, bien évidemment, moindres dans le cas d'une émission diffuse dans une atmosphère ouverte.

Mécanismes initiateurs

Plusieurs mécanismes, indépendants ou concomitants, peuvent induire une différence de pression positive entre le réservoir souterrain et l'atmosphère extérieure et être à l'origine d'une remontée du gaz de mine vers la surface. On retiendra plus particulièrement les mécanismes suivants :

a) Production de gaz au sein des vieux travaux

Dans les gisements « grisouteux », le charbon non exploité peut contenir des quantités importantes de grisou à des pressions pouvant atteindre 1 voire 2 MPa. Il est donc théoriquement possible que des pressions de cet ordre puissent être

³ Le gaz de mine est généralement un mélange de gaz d'origines diverses, à des teneurs variables. Certains gaz ont une origine endogène (grisou, dioxyde de carbone, radon), d'autres une origine exogène (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène, par exemple).

atteintes dans les anciennes exploitations par désorption du grisou résiduel. Ce phénomène est très lent, mais peut perdurer longtemps après l'arrêt de l'extraction.

La désorption de grisou cesse en présence d'une contre-pression comme celle résultant de la charge hydraulique consécutive à l'envoyage des vides résiduels.

b) Pistonage par remontée de la nappe

A l'arrêt des pompages, l'envoyage du réservoir minier réduit progressivement les vides résiduels disponibles en chassant le gaz de mine qu'ils contenaient. Selon la durée de la remontée des eaux (quelques mois à plusieurs années) et le volume des vides, le phénomène de « pistonage » du gaz par l'eau sera plus ou moins fort. Cette phase constitue une période transitoire fondamentale vis-à-vis du risque d'émission du gaz en surface.

c) Variations de la pression atmosphérique

Les variations de la pression atmosphérique induisent une différence de pression entre le réservoir souterrain et l'atmosphère externe. A l'occasion d'une dépression météorologique, les anciens travaux peuvent se trouver momentanément en surpression, celle-ci engendrant (ou accentuant) alors la migration de gaz vers la surface. Ce phénomène transitoire n'est pas à négliger, en particulier lorsque les vides souterrains sont proches de la surface.

d) Tirage naturel

Dans certaines configurations, il peut s'établir, de manière naturelle, un écoulement gazeux entre le réservoir souterrain et l'atmosphère externe. Ce phénomène bien connu des anciens mineurs et largement utilisé par eux, s'appelle « tirage naturel ». Il a pour cause une différence de température entre les terrains et l'air atmosphérique et une différence d'altitude entre plusieurs orifices miniers. L'effet est surtout marqué dans les périodes d'été et d'hiver.

Un tel régime d'écoulement s'établit d'autant plus facilement que les communications entre le réservoir et l'extérieur seront faciles (par exemple, lorsque les orifices miniers sont importants et mal obturés ou que les terrains de recouvrement sont peu épais et fracturés).

Qualification de l'intensité

Le phénomène redouté correspond à une remontée en surface d'un gaz de mine susceptible de présenter des dangers, d'abord pour les personnes et, plus exceptionnellement, pour les biens. Il s'agit essentiellement des dangers d'inflammation ou d'explosion et d'asphyxie. L'intensité du phénomène se décrit classiquement sous forme de « gravité » vis-à-vis des personnes, en considérant les principales caractéristiques suivantes :

- la composition du gaz de mine (inflammabilité et/ou toxicité) ;
- l'importance du flux gazeux et sa répartition à la surface (concentration locale).

L'échelle d'intensité proposée ci-dessous, à titre purement indicatif, peut servir de repères pour l'évaluation de l'aléa et non de références absolues.

Classe d'intensité	Emission de gaz de mine
Très limitée à limitée	Emission contenant : <ul style="list-style-type: none"> • soit des gaz inflammables, à des teneurs inférieures à la LIE⁴ • soit des gaz asphyxiants, toxiques ou ionisants, à des teneurs supérieures à la TMR⁵ mais ne pouvant pas entraîner qu'un impact faible et réversible
Modérée	Emission limitée contenant des gaz : <ul style="list-style-type: none"> • soit directement inflammables ou pouvant le devenir par dilution dans l'air • soit asphyxiants ou toxiques à des teneurs pouvant entraîner un impact significatif
Elevée	Emission importante contenant des gaz : <ul style="list-style-type: none"> • soit directement inflammables ou pouvant le devenir par dilution dans l'air • soit asphyxiants ou toxiques à des teneurs pouvant entraîner un impact significatif
Très élevée	Emission importante contenant des gaz asphyxiants ou toxiques à des teneurs élevées pouvant entraîner directement un impact léthal

*Tableau 8 : Classes d'intensité de l'aléa gaz de mine
(valeurs guides purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

La prédisposition d'un site minier à être le siège d'émanations de gaz de mine est essentiellement liée aux deux caractéristiques suivantes :

a) Prédisposition du réservoir à émettre du gaz

La production du gaz libéré est directement fonction de la nature du charbon et du gisement, ainsi que du volume des vides miniers.

- nature du charbon : une ancienne mine exploitée dans un gisement franchement grisouteux sera (*a priori*) plus prédisposée à émettre du gaz qu'une exploitation située dans un gisement faiblement grisouteux. La prédisposition intègre également la présence ou non de gaz en phase d'exploitation (classement du gisement) ainsi que l'occurrence d'accidents liés au gaz pendant ou même après l'exploitation ;
- nature du gisement : la prédisposition du matériau exploité et des terrains encaissants à subir des transformations chimiques conduisant à une production de gaz devra également être prise en considération. On citera, par exemple, le risque de feu ou d'échauffement de matériaux combustibles ou encore l'attaque de carbonates par de l'eau acide ;

⁴ LIE : Limite Inférieure d'Explosibilité

⁵ TMR : Teneur Maximale autorisée par la Réglementation en vigueur

- volume des vides miniers : quelle que soit l'origine du gaz de mine, la quantité de gaz susceptible de s'accumuler et de migrer vers la surface est directement liée au volume disponible au sein du réservoir minier. L'évaluation du volume non ennoyé du réservoir souterrain, de sa répartition dans l'espace et de son évolution dans le temps (effet de l'ennoyage) influera également directement sur la prédisposition du phénomène redouté.

b) Prédisposition du site à la remontée du gaz en surface

Les principaux facteurs susceptibles de faciliter ou, au contraire, de s'opposer à la remontée de gaz jusqu'en surface sont principalement de trois ordres : la différence de pression entre le réservoir souterrain et l'air libre, l'épaisseur et la perméabilité des terrains de recouvrement ainsi que l'existence d'éventuels « drains préférentiels ».

- différentiel de pression : plus la différence de pression (positive) entre les anciens travaux et l'atmosphère en surface sera importante, plus la prédisposition du site à être le siège d'émanations de gaz en surface sera jugée sensible. On notera, par ailleurs, que les remontées de gaz en surface sont favorisées par le processus d'ennoyage (en cours) par rapport à une exploitation où le niveau d'eau est déjà stabilisé (effet de « pistonage »).
- épaisseur des terrains de recouvrement : l'importance de la profondeur a, tout naturellement, un effet réducteur sur la remontée de gaz. On considère généralement qu'au-delà d'une épaisseur de recouvrement de 200 mètres, la probabilité que du gaz puisse remonter en quantité significative jusqu'en surface devient négligeable ;
- perméabilité des terrains de recouvrement : une forte perméabilité favorise la remontée de gaz jusqu'en surface.
- existence de drains préférentiels : les ouvrages de communication entre les vieux travaux et la surface (puits, descenderies, galeries d'accès, etc.) sont susceptibles, lorsqu'ils n'ont pas été obturés de manière suffisamment étanche, de constituer des vecteurs privilégiés pour la remontée du gaz vers la surface. On retiendra également une possible migration dans les terrains environnants, en raison de l'existence d'anciens travaux mal localisés ou d'anciennes galeries de subsurface. D'autre part, les failles naturelles ou les fractures majeures provoquées par l'exploitation constituent des passages privilégiés pour les écoulements gazeux vers la surface.

4. ZONAGE ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS

4.1 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

Marge d'influence

La représentation des contours délimitant les zones d'aléas s'établit en considérant, dans l'analyse, outre la zone sous-minée directement affectée par les travaux miniers, la zone située en bordure susceptible d'être influencée par l'évolution du désordre attendu. Cette dernière zone constitue la « marge d'influence » qui, depuis l'aplomb des travaux, s'étend jusqu'à une limite en surface matérialisée par l'angle d'influence des travaux miniers, qu'il s'agisse d'un effondrement localisé ou d'un affaissement.

Marge d'incertitude

La marge d'incertitude représente une limite supplémentaire qui matérialise les incertitudes cartographiques dues à la précision des levés, des points de référence, du fond de plan et de son échelle, de l'assemblage des plans cadastraux (lorsque ce travail est nécessaire) et surtout du report fond – jour des plans d'exploitation.

En fonction de la présence ou non de points de référence permettant un bon « calage » des plans (comme les puits repérés, par exemple), l'incertitude cartographique peut ne représenter que quelques mètres pour atteindre une dizaine de mètres, voire davantage, dans certains cas (manque de repères fond – jour). Pour simplifier, on retient classiquement, une marge d'incertitude de 10 à 20 m pour le zonage des effondrements localisés ou des affaissements et aucune marge de sécurité pour les ouvrages de surface bien repérés (puits, entrées de galeries).

Marge de sécurité

Dans le cas des effondrements localisés ou affaissements la marge de sécurité englobe donc la marge d'influence et la marge d'incertitude (sauf pour les ouvrages de surface parfaitement localisés).

Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

L'étape qui suit l'analyse consiste à reporter, sur un fond cartographique de la surface du sol, les différentes zones d'aléas en leur attribuant une couleur conventionnelle. On veille, en général, compte tenu des incertitudes évoquées précédemment, à lisser les contours des différentes zones.

4.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA EMISSION DE GAZ DE MINE

La cartographie de l'aléa « émission de gaz de mine en surface » ne présente pas de spécificité particulière. L'extension des zones d'aléas doit inclure l'incertitude pouvant provenir d'une mauvaise localisation spatiale des anciens travaux souterrains et des anciens ouvrages miniers débouchant en surface mais également la migration latérale possible des gaz par les ouvrages connectés, les terrains déconsolidés, etc.

ANNEXE 4 a

Carte informative : Concessions de
Vèdes, Liquette et Bassan

ANNEXE 4 b

**Carte informative : Concessions de La
Fare et Coudoux**

ANNEXE 5 a

Cartes d'aléa : Concessions de Vèdes, Liquette et Bassan

- Effondrements localisés
- Tassements
- Emission de gaz de mines

ANNEXE 5 b

Cartes d'aléa : Concessions de La Fare et
de Coudoux

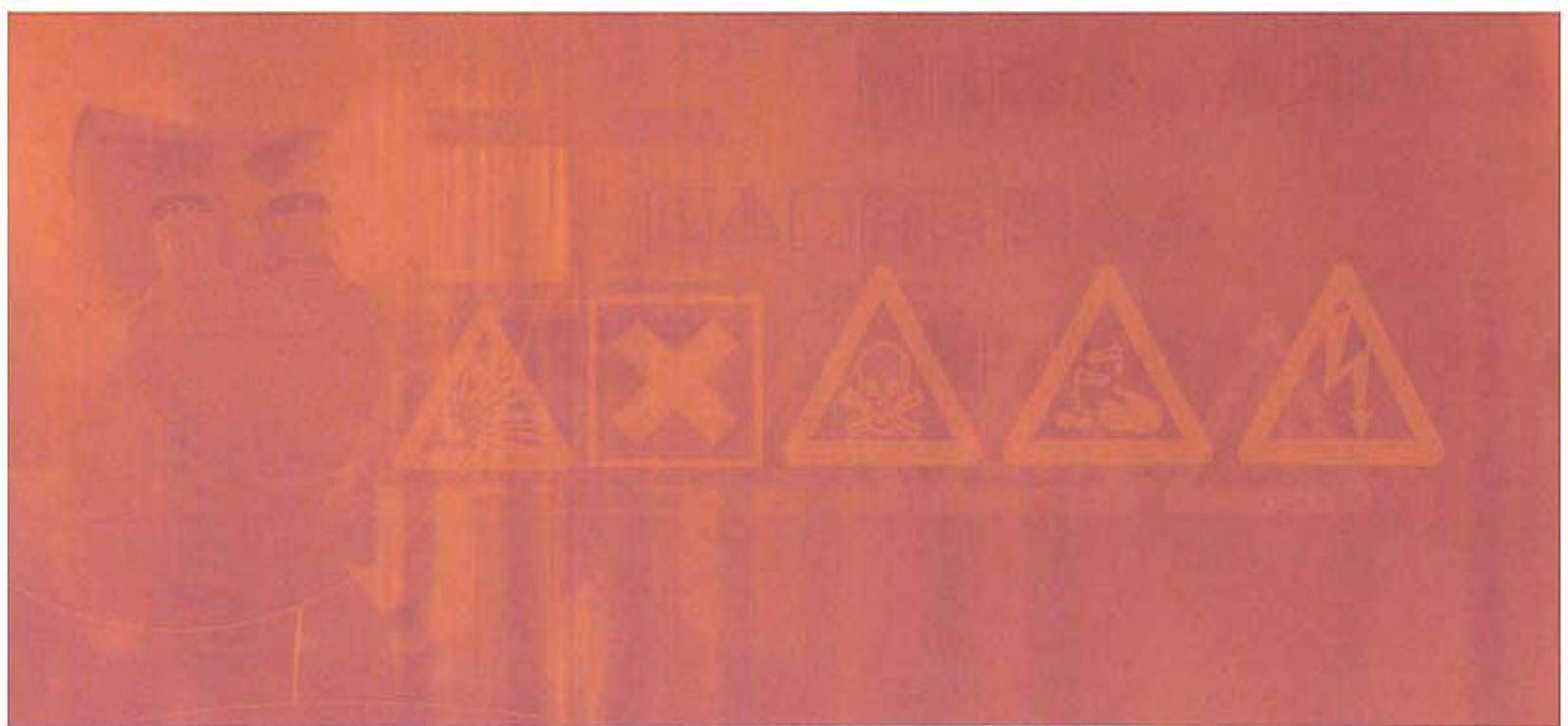
- Effondrements localisés
- Tassements
- Emission de gaz de mines

ANNEXE 6a

**Carte d'aléa pollution des eaux
souterraines et de surface (Concessions
de Vèdes, Liqueette et Bassan)**

ANNEXE 6b

**Carte d'aléa pollution des eaux
souterraines (Concessions de La Fare et
de Coudoux)**



INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet** : <http://www.ineris.fr>

ANNEXE B

*Cartes informatives
(2 cartes)*

(hors texte)

ANNEXE C

Cartes d'aléas

(6 cartes)

(hors texte)