



**INSPECTION GÉNÉRALE
DES CARRIÈRES**
3, avenue du colonel Henri Rol-Tanguy
75014 - Paris

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES MOUVEMENTS DE TERRAIN

*ANCIENNES CARRIÈRES
ET GLISSEMENTS DE
TERRAIN*

Identification des phénomènes et des aléas
liés à la présence d'anciennes carrières



carrière en limite entre le Pré-Saint-Gervais et Les Lilas

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION..... | 6 |
| 1. MÉTHODOLOGIE..... | 8 |
| 2. ANALYSE DES DONNÉES..... | 10 |
| 2. 1. GÉOLOGIE DU PRÉ SAINT GERVAIS APPLIQUÉE AUX CARRIÈRES | 10 |
| 2. 2. CONSÉQUENCE DE L'HYDROGÉOLOGIE SUR LES CARRIÈRES..... | 13 |
| 2. 3. EXPLOITATIONS DES MATÉRIAUX ET DISSOLUTIONS..... | 14 |
| 2. 3. 1. <i>Matériaux exploités et taux de défrètement.....</i> | <i>14</i> |
| 2. 3. 2. <i>Dissolutions de gypse.....</i> | <i>17</i> |
| 3. DESCRIPTION SOMMAIRE DES DÉSORDRES..... | 18 |
| 3. 1. DÉFINITION DES ALÉAS..... | 19 |
| 3.1.1 <i>Aléas liés à la remontée à la surface des désordres dus aux anciennes carrières souterraines</i> <i>et à ciel ouvert et aux karsts.....</i> | <i>19</i> |
| 3.1.2 <i>Les falaises et les glissements de terrain (liés aux carrières).....</i> | <i>23</i> |
| 3. 2. FACTEURS AGGRAVANT LE PROCESSUS DE DÉGRADATION DES CARRIÈRES..... | 23 |
| 4. INVENTAIRE DES CARRIÈRES CONNUES AU PRÉ-SAINT-GERVAIS..... | 26 |
| 4.-1. INVENTAIRE DES CARRIÈRES À CIEL OUVERT CONNUES..... | 26 |
| 4. 2. INVENTAIRE DES CARRIÈRES SOUTERRAINES CONNUES..... | 27 |
| 4.3 - LES KARSTS GYPSEUX..... | 28 |
| 5. ETUDE ET RÉPARTITION DES ALÉAS AU PRÉ-SAINT-GERVAIS..... | 30 |
| 5 1 - ÉVALUATION DE L'ALÉA POUR LES CARRIÈRES..... | 30 |
| 5 2. - CARACTÉRISATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA POUR LES CARRIÈRES..... | 31 |
| 5.2.1. <i>Zones de protection et marge de reculemment.....</i> | <i>31</i> |
| 5.2.2. <i>Détail des aléas.....</i> | <i>32</i> |
| LEXIQUE..... | 36 |

Illustrations

| | |
|---|-----------|
| TABLEAU 1 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ZONES DE PROTECTION ET DES MARGES DE RECULEMENT..... | 32 |
| TABLEAU 2 : TROIS NIVEAUX D'ALÉAS POUR LES CARRIÈRES À CIEL OUVERT..... | 33 |
| TABLEAU 3 : QUATRE NIVEAUX D'ALÉAS POUR LES CARRIÈRES SOUTERRAINES..... | 33 |
| FIGURE 1 : EXTRAIT DU TABLEAU D'ASSEMBLAGE DES CARTES DE CARRIÈRES DE L'IGC..... | |
| | 8 |
| FIGURE 2 : EXTRAIT DE CARTE DE CARRIÈRE (ATLAS AU 1/1000)..... | 8 |
| FIGURE 3 : EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE RÉALISÉE AU 1/20000 – QUART NORD EST DE PARIS..... | 10 |
| FIGURE 4 : COUPE SCHÉMATIQUE DES TERRAINS..... | 11 |
| FIGURE 5 : CARTE GÉOLOGIQUE RÉALISÉE AU 1/5000 DE L'IGC, RÉDUITE AU FORMAT A4 | 12 |
| FIGURE 6 : SCHÉMA D'UNE CARRIÈRE SOUTERRAINE EXPLOITÉE PAR LA MÉTHODE DES PILIERS TOURNÉS DANS LE GYPSE LUDIEN..... | 15 |
| FIGURE 7 : SCHÉMA MONTRANT UNE CARRIÈRE À CIEL OUVERT REMBLAYÉE, MASQUANT UNE ENTRÉE EN CAVAGE ET SOUS MINÉES PAR D'AUTRES CARRIÈRES SOUTERRAINES..... | 16 |
| FIGURE 8 : EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE MINUTE AU 5000ÈME DU PRÉ-SAINT-GERVAIS..... | 17 |
| FIGURE 9 : SCHÉMA D'UN AFFAISSEMENT GÉNÉRAL D'UNE CARRIÈRE..... | 20 |
| FIGURE 10 : SCHÉMA D'UNE VENUE À JOUR DE FONTIS SUR 2 ÉTAGES DE CARRIÈRES DE GYPSE..... | 21 |
| FIGURE 11 : SCHÉMA MONTRANT UN DÉBOURRAGE DE PUIITS..... | 22 |
| FIGURE 12 : SCHÉMA DES ÉVÈNEMENTS SUSCEPTIBLES D'INTERVENIR EN BORDURE DE VERSANT, SOUS LES REMBLAIS DE CARRIÈRE À CIEL OUVERT, PLUS PARTICULIÈREMENT AU NIVEAU DES ANCIENNES ENTRÉES EN CAVAGE OU DES FRONTS DE TAILLE (LIGNE DE CRÊTES)..... | 23 |
| FIGURE 13 : EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE MINUTE DU PRÉ-SAINT-GERVAIS, ÉTABLIE AU 5000ÈME..... | 26 |
| FIGURE 14 : EXTRAIT DE L'ATLAS DES CARRIÈRES, RÉALISÉS AU 1000ÈME, MONTRANT UNE ANCIENNE ENTRÉE EN CAVAGE..... | 27 |
| FIGURE 15 : COUPE VERTICALE DE TERRAIN, CIMETIÈRE COMMUNAL DES LILAS.... | 28 |
| FIGURE 16 : EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE MINUTE DU PRÉ-SAINT-GERVAIS ÉTABLIE AU 5000ÈME..... | 29 |
| FIGURE 17 : SCHÉMA ZONE DE PROTECTION - MARGE DE RECULEMENT..... | 31 |

**PHOTO 1 : MAQUETTE DE L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES MONTRANT
UNE CARRIÈRE DE GYPSE LUDIEN ET DE MARNES À CIMENT À CIEL OUVERT.....15**

**PHOTO 2 : MAQUETTE DE L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES, MONTRANT 2
ÉTAPES DU MÉCANISME D'UN FONTIS SUR UNE CARRIÈRE SOUTERRAINE DE GYPSE.....20**

Introduction

L'existence d'anciennes carrières souterraines et à ciel ouvert abandonnées dans le département de la Seine-Saint-Denis et sur la commune du Pré-Saint-Gervais, pouvant être à l'origine de mouvements de terrains, constitue un risque pour les aménagements existants, et une contrainte vis-à-vis de l'occupation ultérieure du sol et du sous-sol.

Bien que la commune du Pré-Saint-Gervais se soit dotée d'un périmètre de risques liés aux carrières souterraines et à ciel ouvert, dans le dernier document d'urbanisme en vigueur (P.L.U.), un arrêté préfectoral, valant PPR en phase transitoire, définissait officiellement ce périmètre en application de l'ancien article R111-3 du Code de l'Urbanisme. Ce PPR ne définit pas de périmètre de risques liés à la dissolution du gypse.

Par arrêté, l'Etat, représenté par le Préfet de la Seine-Saint-Denis, a prescrit un Plan de prévention des risques naturels mouvements de terrain (PPRMT) sur la commune du Pré-Saint-Gervais.

Dans le cadre de l'élaboration de ce PPRMT sur la commune du Pré-Saint-Gervais, le Préfet de la Seine-Saint-Denis a retenu plusieurs experts pour assister techniquement la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement Ile-de-France (DRIEA), Unité Territoriale de la Seine-Saint-Denis (UTEA 93) qui a pour mission d'élaborer et de mettre en application les PPR. Chaque expert traite de sa partie : les carrières et les dissolutions de gypse sont traitées par l'Inspection générale des carrières (I.G.C.).

L'expertise ainsi confiée à l'I.G.C., par lettre de commande du 18 avril 2008, porte sur l'identification des aléas carrières souterraines ou à ciel ouvert et dissolutions de gypse, et leur cartographie au 1/5000.

Le présent document présente la méthodologie de l'élaboration de l'étude d'aléas et les caractéristiques des carrières et des dissolutions de gypse ante ludiens du Pré-Saint-Gervais. Après un exposé du type de désordres et des facteurs aggravants les phénomènes d'instabilité, les aléas sont décrits et synthétisés afin de permettre d'en donner une cartographie simple. Ce document technique est repris en partie dans la note de présentation du PPR multirisque qui est accompagnée des cartes réglementaires et des aléas « mouvements de terrains et phénomènes naturels ».

A partir de ce document technique, il peut être défini un règlement qui prend en compte les enjeux en regard des aléas. Le document réglementaire du PPR multirisque, élaboré par la DRIEA/UTEA93 en concertation avec l'I.G.C. et les autres experts missionnés par la DRIEA/UTEA93, s'attache à proposer des dispositions réglementaires dont la prise en compte conditionne la constructibilité éventuelle des zones sous-minées ou exposées à un risque de mouvement de terrain.

La cartographie comprend un report à l'échelle du cadastre (1/5000) des cavités connues à la date de la publication de ce plan. La cartographie est réalisée à partir de l'étude des données disponibles à ce jour. L'analyse critique de ces données permet de définir la grille d'aléas et d'établir la carte correspondante.

Les cartes suivantes ont été établies :

↳ à l'échelle 1/5000 : carte informative représentant l'état actuel des connaissances sur les carrières et les dissolutions de gypse ludien et ante ludien.

↳ à l'échelle 1/5000 : cartes des aléas susceptibles de se produire sur la commune du fait de la présence des carrières à ciel ouvert ou souterraines et du gypse ante ludien.

Le PPR multirisque, une fois approuvé, sera tenu à la disposition du public en préfecture et en mairie. Il sera annexé in extenso aux documents d'urbanisme en vigueur (PLU). Il vaudra alors servitude d'utilité publique. Le présent document sera consultable en mairie et à la DDE, mais ne sera pas intégré aux dits documents d'urbanisme.

1. Méthodologie

L'Inspection générale des carrières (IGC) a mené cette étude à partir des différentes cartes disponibles :

- la carte géologique au 1/20 000 de l'Inspection générale des Carrières, quart Nord-Est ;
- la carte géologique minute au 1/5000 existant à l'IGC et comportant des points de sondages avec des coupes résumées ;
- les cartes des carrières de l'atlas au 1/1000 réalisées initialement à partir des plans fournis par les carriers (délimitations en pointillés) et dessinées à partir des relevés topographiques directement mesurés par des agents de l'IGC (délimitations en traits pleins). Ces cartes de carrières sont tenues à jour à partir des déclarations d'incidents et des récolements de travaux (voirie, permis de construire, grands travaux).

Il convient de noter que certains documents consultés sont anciens et peuvent ainsi être incomplets.

La Direction Régionale Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France (DRIEA) a mené une enquête auprès des divers organismes susceptibles de connaître ou d'archiver des informations géologiques et géotechniques.

Dans le cadre des conventions passées avec le Conseil général de la Seine-Saint-Denis et la commune du Pré Saint Gervais, la Ville de Paris, Inspection générale des carrières, peut procéder à des visites de contrôle sous le domaine public. Toutefois, les carrières du Pré Saint Gervais ne sont plus aujourd'hui accessibles. Quelques inspections de surface ponctuelles sont effectuées lors d'incidents, à la demande de la ville ou des particuliers.

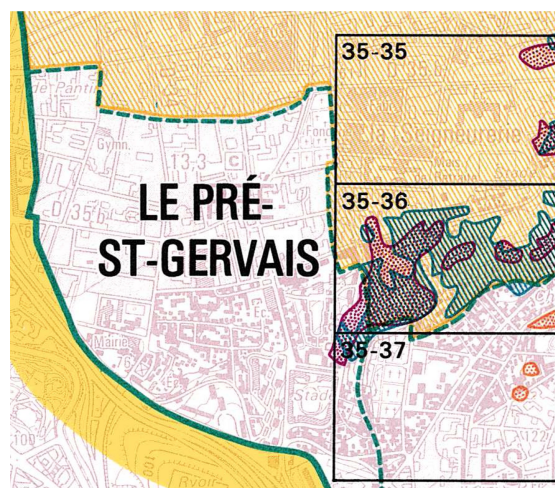


Figure 1 : Extrait du tableau d'assemblage des cartes de carrières de l'IGC

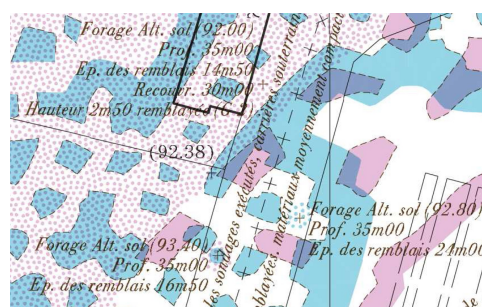


Figure 2 : extrait de carte de carrière (atlas au 1/1000)

Le présent document expose l'ensemble des données géologiques, géographiques et historiques liées à l'existence des carrières, qui ont été recueillies sur le territoire de la

commune du Pré Saint Gervais. L'analyse de ces données a permis de mettre en évidence les critères d'existence des cavités liées aux carrières à ciel ouvert ou souterraines, ainsi que les facteurs entraînant leur dégradation ou leur remontée plus ou moins rapide, sous forme de fontis, vers la surface.

La cartographie des aléas comprend un report au 1/5000 des aléas dus aux cavités connues à la date de la publication de ce plan. Cette cartographie est réalisée à partir de l'étude des données disponibles à ce jour : géologie, hydrogéologie, diagraphies, coupes de sondages et visites quand elles sont possibles. L'analyse critique de ces données permet de définir les niveaux d'aléas et d'établir la carte correspondante.

On déplore une absence d'informations pour certaines parties de carrières dont l'existence est fortement présumée. En ce cas, il n'existe pas de cartes de carrières permettant de les localiser et de pouvoir informer le public. De la même manière, les limites d'exploitation des carrières à ciel ouvert peuvent être mal définies.

2. Analyse des données

2. 1. Géologie du Pré Saint Gervais appliquée aux carrières

La commune du Pré Saint Gervais s'inscrit topographiquement et géologiquement sur le versant Nord d'une butte-témoin, qui s'étire depuis Belleville (Paris 19^{ème} et 20^{ème} arrondissements) à l'Ouest, jusqu'à Vaujours à l'Est. Ce versant met essentiellement en évidence à l'affleurement des terrains appartenant au Ludien et surmontés par les Marnes à Huîtres, les Travertins de Brie et des argiles appelées "Glaises Vertes" qui sont gonflantes et très plastiques, et ont une tendance à fluer en bordure de ce versant.

Figure 3 : Extrait de la carte géologique réalisée au 1/20000 – quart Nord Est de Paris



R : remblais ; TV : terres végétales ; E : formations de pente ; MH : Marnes à Huîtres ; TB : Travertins de Brie ; GV : Glaises Vertes ; MC : Marnes à Cyrènes ; MSG : Marnes Supra-Gypseuses ; G(1) : masse du gypse (1^{ère} masse) ; SO : marno calcaire de Saint Ouen ; SB : Sables de Beauchamp ; M et C : Marnes et Caillasses du Lutétien ; CG : Calcaire Grossier ;

Au Pré-Saint-Gervais, les horizons exploités se situent sur le flanc Nord Ouest de la butte-témoin laissée par l'érosion périglaciaire. C'est le seul endroit où les formations de pente n'ont pas recouvert le Ludien. Les rares exploitations de Marnes Supra gypseuses sont le plus souvent associées à celles de gypse. Elles sont mal connues.

L'ensemble des différentes couches du versant s'incline vers la plaine par fluage des couches argileuses et marneuses.

La série ludienne repose sur un ensemble marinésien composé de marno calcaires (de Saint-Ouen) et de sables (de Beauchamp) recouvrant des Marnes et Caillasses lutétiennes. Ces différents horizons ne se rencontrent pas à l'affleurement au Pré-Saint-Gervais car ils sont profonds, mais peuvent être atteints par certains sondages dans la partie Nord de la commune. Ces formations sous-jacentes au Ludien peuvent contenir des lentilles de gypse dit « ante ludien », le plus souvent contenues dans le Lutétien, qui peuvent se dissoudre lors des circulations d'eau et des mouvements des nappes souterraines.

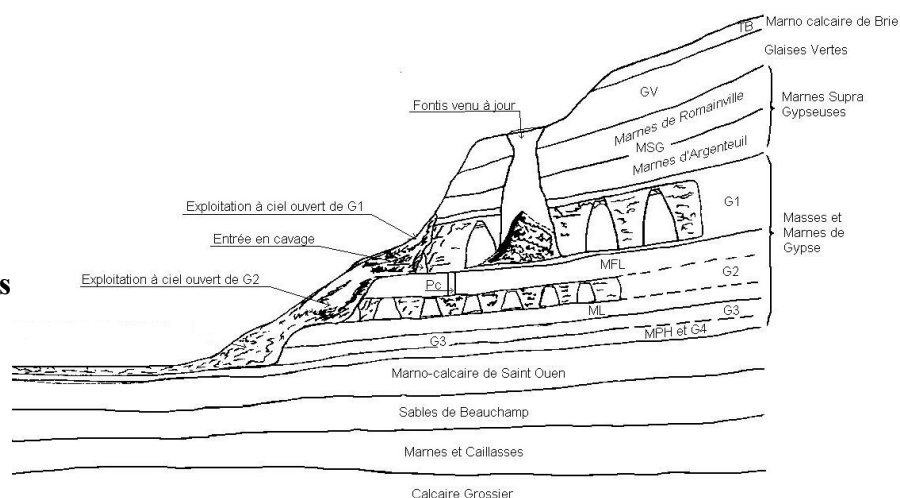
Toutefois, dans l'état actuel des connaissances géologiques, de tels éléments n'ont pas été observés dans les marno-calcaires de Saint Ouen, les Sables de Beauchamp du Bartonien et les Marnes et Caillasses du Lutétien, sur la commune du Pré-Saint-Gervais.

Le Ludien et le sommet du Marinésien sont relativement homogènes dans les dépôts sédimentaires. Ils se composent de quatre assises ou masses de gypse et de cinq couches de marnes à entrefilets gypseux fréquents : les Marnes Inférieures, les trois Marnes intercalaires et les Marnes Supérieures. Ces horizons ont environ 35 millions d'années et ont au total une puissance avoisinant 50 mètres.

Les deux premiers, moins profonds, des trois horizons de gypse ludien ont été entaillés : la Haute Masse et la deuxième Masse. La troisième Masse n'a semble-t-il pas été reconnue par les carriers au Pré-Saint-Gervais. Ces bancs de gypse sont séparés par un ensemble marneux de 3 à 5 mètres d'épaisseur et surmontent les Marnes Infra-Gypseuses, dans lesquelles s'intercalent des bancs de gypse moins épais, en théorie inexploitable dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

La coupe schématique NS suivante donne la succession des terrains de recouvrement et les supports des gisements.

Figure 4 : Coupe schématique des terrains



Les qualités du gypse du Bassin Parisien ont incité les exploitants à extraire le gypse ludien dès qu'il était sain et facile d'accès. La hauteur des exploitations n'excède pas 11 mètres en cumulé sur les 2 étages.

L'exploitation du gypse ludien au Pré-Saint-Gervais prolonge les exploitations des communes voisines de Pantin et des Lilas. Au niveau de ce site important dans son ensemble, les effets de la sédimentologie et de la tectonique sont négligeables pour les épaisseurs des dépôts et les altitudes relatives.

Des Marnes Supra Gypseuses recouvrent le haut des plateaux. Se situent en tête les Marnes de Romainville dites localement « de Pantin » qui sont des marnes calcareuses blanchâtres, puis les Marnes d'Argenteuil, bleutées et plastiques, qui peuvent renfermer quelques petits niveaux de gypse en base. Cet ensemble est surmonté par des argiles vertes, les Travertins de Brie et des Marnes à Huîtres.

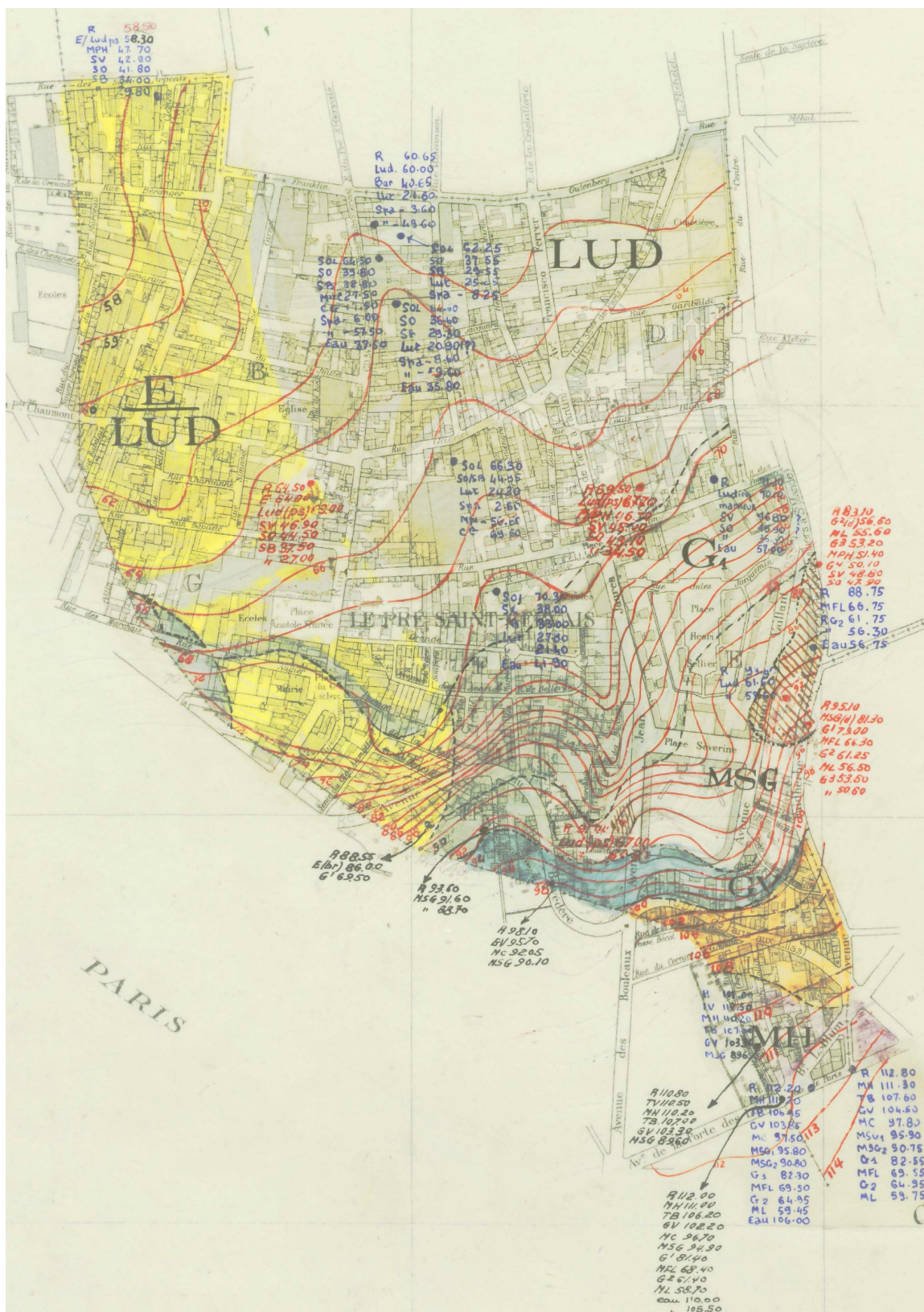


Figure 5 : Carte géologique réalisée au 1/5000 de l'IGC, réduite au format A4

(R : remblais, E : formations de pente, MH : marnes à huîtres, TB : travertin de Brie, GV : argiles vertes, Lud : Masses et marnes du gypse ludien avec MSG : Marnes Supra gypseuses, G1 : Haute Masse, MFL : Marnes à Fer de Lance, G2 : 2^{ème} Masse de gypse, MPH : Marnes à Pholadomies, G3 : 3^{ème} Masse de gypse et ML : Marnes à Lucines, Bartonien (Bar) avec G4 : 4^{ème} Masse de gypse, SV : Sables Verts, SO : Calcaire de Saint Ouen, SB : Sables de Beauchamp, Lutétien (Lut) avec MetC : les Marnes et Caillasses et CG : Calcaire Grossier, Sparnacien (Spa), ps : pseudomorphosé, d : décapé)

Tous ces terrains tertiaires ont été érodés et remaniés durant le Quaternaire pour donner un versant d'une dénivelée de 55 mètres entre le Sud-Est du Pré-Saint-Gervais (113m en limite de la communale des Lilas), et le Nord-Ouest (58 m en limite de Paris), les premiers 40 mètres se situant entre Les Lilas et la rue Danton.

Au Nord du passage de la Mairie puis à l'Ouest de la rue André Joineau, se rencontrent des formations de pente, constituées par tous les matériaux sus-jacents (sables, travertins, marnes, argiles et quelques lentilles de gypse), qui se sont mis en place pendant le début du Quaternaire. Les matériaux argileux ne sont plus en place et les gypseux sont plus ou moins altérés. Ils ne sont pas exploitables.

2. 2. Conséquence de l'hydrogéologie sur les carrières

Les eaux naturelles constituent un facteur déclencheur ou aggravant des risques de mouvements de terrain. Il est donc essentiel de définir en amont de l'étude, les différentes nappes en présence. Leur rôle spécifique, tant pour les risques liés aux carrières qu'aux dissolutions de gypse et aux mouvements de terrain de surface (glissements de terrain, solifluxions, éboulements), sera défini dans chaque partie.

Deux nappes principales existent au Pré-Saint-Gervais :

- la nappe phréatique qui se situe dans les marno calcaires de Saint Ouen et qui correspond à la nappe générale de cette région de l'Ile de France ;
- une nappe perchée contenue par les aquifères sus-jacents aux Glaises Vertes, essentiellement dans les Travertins de Brie.

La nappe perchée est alimentée par la pluie efficace du plateau et d'éventuelles fuites de réseaux. A l'origine l'eau s'écoulait sur les bordures du plateau par l'intermédiaire de sources. Ces sources ayant disparu, ces eaux se perdent dans les formations de pente et les remblais de carrières à ciel ouvert. Elles doivent rejoindre la nappe phréatique en pied de butte. Ces sources peuvent également être à l'origine de mouvements de terrain. Dans le passé, ces eaux ont été captées sur le territoire de la commune et des communes environnantes. La puissance de cette nappe a fortement diminué.

Toutes ces eaux des terrains de recouvrement se perdent parfois dans les carrières en raison d'accidents de terrains (travaux, fontis atteignant la surface, fissurations, diaclases ouvertes, décapage des argiles et marnes les protégeant). Le gypse est un matériau soluble dans une eau non saturée en sulfates. Mais dès lors que l'eau est saturée, le gypse se comporte comme un milieu imperméable. On peut donc rencontrer de l'eau en carrière sans que celle-ci ne nuise à sa stabilité, si aucun apport n'est constaté.

Les eaux superficielles qui s'écoulent sur les versants du plateau sont un facteur déterminant pour l'implantation des carrières et pour leur stabilité. Ainsi, sur Le Pré-Saint-Gervais, les carrières de gypse se situent essentiellement sur le flanc Nord – Nord Ouest de ce plateau.

2. 3. Exploitations des matériaux et dissolutions

Les cavités susceptibles d'entraîner des désordres en surface, sur le territoire du Pré-Saint-Gervais concernent essentiellement le gypse, qu'il s'agisse de cavités anthropiques ou naturelles (éventuels karsts).

D'autres couches géologiques, telles les Marnes Supra-Gypseuses (marnes à ciment), ont pu être extraites à ciel ouvert lors de la découverte du gypse.

2. 3. 1. Matériaux exploités et taux de défrètement

L'activité de la majorité des carrières, commencée au 14^{ème} siècle, a cessé dans la seconde moitié du 19^e siècle, bien que certaines exploitations aient pu être reprises plus tard, ce qui ne semble pas avoir été le cas au Pré-Saint-Gervais. Ces carrières font partie du grand ensemble d'exploitation connu sur les communes de Pantin et des Lilas, dont les fronts de taille datent des années 1890.

Les modes d'exploitation se sont succédés et ont varié dans le temps d'un lieu à l'autre, mais les principes généraux en sont restés semblables.

Différentes méthodes d'exploitation coexistent sur une même carrière en fonction de leur rentabilité et de leur répartition.

La méthode la plus simple, lorsque le matériau affleure directement ou lorsque le recouvrement le permet (faible profondeur), est l'exploitation **à ciel ouvert**. C'est la méthode la plus ancienne. La carrière est alors directement à flanc de coteau.

Il arrive que cette méthode soit aussi utilisée lors d'une reprise d'exploitation (dépilage).

- Pour les Marnes Supra gypseuses, il n'existe apparemment que ce type de carrière, associées aux exploitations de gypse, au Sud Est de la commune. Elles ne sont connues que par les lignes de crête.

Sur le reste de la commune, ces marnes ont disparu, érodées.

- Pour le gypse ludien, cette méthode était utilisée en association avec d'autres exploitations (Marnes Supra Gypseuses) ou seule, et s'arrêtait quand le recouvrement devenait trop important.

Les hauteurs d'exploitation étaient très variables (une à deux masses). Les vides créés étaient le plus souvent comblés à l'aide de matériaux divers (déblais, terres stériles du recouvrement... mais aussi avec des gravats, bois, briques ...), matériaux ayant des qualités mécaniques variables, souvent plus réduites que le matériau d'origine. Cette situation peut provoquer des tassements différentiels sous les fondations de bâtiment.



Photo 1 : Maquette de l'Inspection générale des carrières montrant une carrière de gypse ludien et de marnes à ciment à ciel ouvert

Les épaisseurs de remblais varient de quelques mètres à 32 mètres, cette épaisseur est particulièrement difficile à estimer quand plusieurs carrières se superposent. Aucun effondrement de carrière souterraine n'a été signalé sur la commune du Pré-Saint-Gervais, mais dans les communes voisines, des effondrements importants venus à jour, pendant ou juste après l'exploitation, ont été remblayés, depuis la surface, par des remblais de mauvaise qualité, augmentant par là les épaisseurs relatives.

Pour mémoire, les Argiles Vertes sont aussi un matériau qui a été extrait à ciel ouvert dans les communes voisines. L'affleurement des Argiles Vertes est réduit et ne semble pas avoir été impacté sur la commune du Pré-Saint-Gervais.

Le recouvrement augmentant, les carriers ont extrait le gypse **en souterrain** sur un seul niveau connu au Pré-Saint-Gervais. C'est la Deuxième Masse, d'une puissance de 6m environ, qui a été généralement exploitée. Toutefois en limite de commune avec le cimetière des Lilas, existe une carrière souterraine de Haute Masse sur environ 6,5 m de hauteur.

Pour mémoire, le Travertin de Brie est un matériau qui a été exploité en souterrain à Bagnolet, commune voisine. Etant donnée la topographie du Pré-Saint-Gervais et la pente du versant au Sud de la commune, aucune carrière souterraine de ce type n'a été répertoriée.

- méthode dite « des piliers tournés » : exploitation de la pierre en laissant régulièrement du matériau en place (ou étaux de masse qui constituent ainsi des piliers naturels). Cette méthode permet d'obtenir des salles d'exploitation assez hautes et de ne pas remblayer la carrière derrière soi.

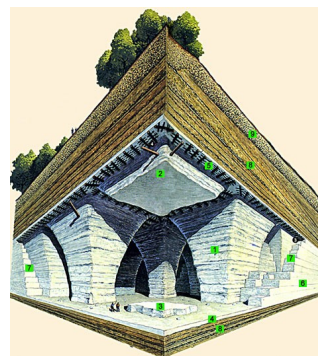
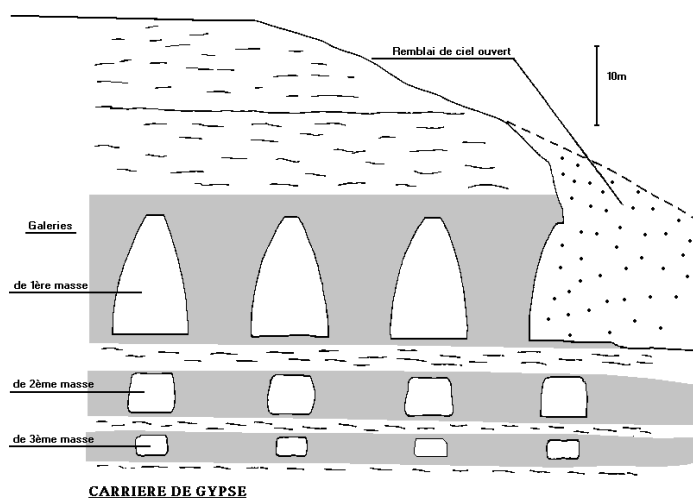


Figure 6 : Schéma d'une carrière souterraine exploitée par la méthode des piliers tournés dans le gypse ludien.

1, 2 et 3 : pilier tourné ; 4 : pied de carrière ; 5 : toit de carrière ; 6 et 7 : masse en place ; 8 et 9 : recouvrement

Figure 7 : Schéma montrant une carrière à ciel ouvert remblayée, masquant une entrée en cavage et sous minées par d'autres carrières souterraines



- méthode par « hagues et bourrages » : exploitation souterraine de la pierre sur la totalité de l'espace, en laissant derrière soi des remblais ou déchets de l'extraction maintenus par des murs de pierres sèches, si possible jusqu'au toit de la salle d'extraction, et en réalisant quelques piliers en pierres sèches (dits « cales à bras ») pour maintenir le toit de la carrière, le temps de l'exploitation. Cette méthode nécessite la réalisation de salles moins hautes mais qui peuvent être superposées. Seules quelques galeries subsistent, essentiellement en front de taille, le reste est comblé. Avec le temps les remblais se tassent. Cette méthode n'a pas été utilisée au Pré-Saint-Gervais.

- méthode des galeries en rameaux : exploitation souterraine à partir d'un puits, de faible profondeur, par un réseau de galeries étroites, qui se recoupent ou pas. Elles laissent un étai de masse important. Ces galeries artisanales, souvent clandestines, sont réalisées sans plans. L'aspect irrégulier et anarchique de ces exploitations les rend difficiles à détecter. Cette méthode a surtout été utilisée pour les Travertins de Brie, mais également pour quelques rares exploitations de gypse très localisées.

L'examen des plans et des archives a révélé que l'exploitation en souterrain du gypse a été conduite exclusivement par la méthode dite des piliers tournés (ou piliers abandonnés), avec un taux de défrètement moyen de 65% puis 70%, entraînant de nombreux incidents en surface sur les communes voisines. Le taux de défrètement représente le rapport entre la surface des vides et la surface totale de l'exploitation (en considérant les surfaces à 1 mètre du pied de carrière).

En vue de réduire la portée du ciel entre deux piliers, précaution rendue nécessaire par la faible résistance à la traction et l'altérabilité du gypse, les carriers ont donné aux galeries une structure ogivale (Haute Masse) ou trapézoïdale (2^e et 3^e Masses), large à la base et étroite au sommet. Les piliers peuvent présenter des signes visibles d'altération tels que l'écaillage, la fragmentation, la fissuration, voire la ruine.

Les hauteurs d'extraction au Pré-Saint-Gervais atteignent environ 4 mètres pour la Deuxième Masse.

Les terrains situés au-dessus des masses exploitées sont de nature marneuse à argileuse ; et ont été le siège de décapage. Ainsi la protection naturelle contre les venues d'eau a été localement retirée.

En fin d'exploitation, au Pré-Saint-Gervais, les carrières ont été abandonnées le plus souvent avec un remblayage partiel, sans toutefois laisser subsister de vides résiduels trop importants. Afin d'éviter les accidents graves liés à la présence de ces vides souterrains importants, certaines de ces carrières ont récemment été localement mises en sécurité par injection. Ces carrières sont actuellement inaccessibles et peut-être en très mauvais état de conservation. Aucune confortation spéciale n'a été répertoriée sur les plans des exploitants et n'a donc été reportée sur les cartes au 1/1000 de l'Inspection générale des carrières.

2. 3. 2. Dissolutions de gypse

a) Gypse du Ludien

C'est dans cet horizon géologique que se trouvent les différentes masses de gypse exploitées au Pré-Saint-Gervais et dans la région. Sur la commune du Pré-Saint-Gervais, les vides existants dans cette formation sont essentiellement dus aux carrières de gypse. Toutefois, certains vides dans le gypse ludien peuvent résulter de phénomènes de dissolution donnant naissance par endroits à des petits réseaux karstiques, dont le vieillissement est similaire à ceux des galeries de carrières. Ces phénomènes sont dus à la fracturation de cet horizon et/ou aux écoulements d'eau en base de versants dans la 3^{ème} Masse de gypse ludien.

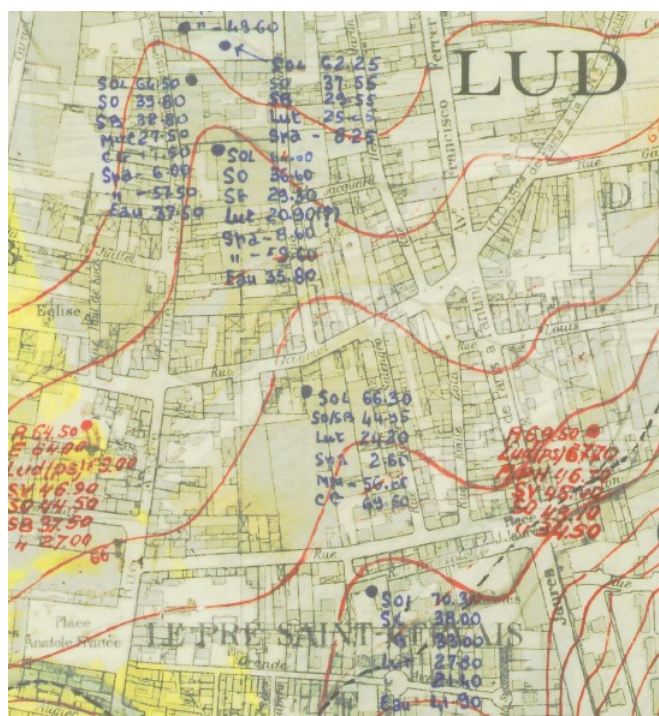


Figure 8 : extrait de la carte géologique minute au 5000ème du Pré-Saint-Gervais

Une partie des sondages réalisés sur la commune ne permettent pas de distinguer les premières dizaines de mètres d'horizons géologiques entre le sol et les marno calcaires de Saint Ouen (SO). Parfois la mention de Ludien pseudomorphosé (Lud (ps)) est indiquée, ce

qui signifie qu'une partie du gypse de ces formations a été dissous et/ou remplacé par des calcaires magnésiens.

Ce risque a fait l'objet d'une carte informative mais n'est pas inséré dans la carte d'aléas.

b) Gypse antéludien (Marinésien et Lutétien)

En l'état actuel des connaissances géologiques sur la commune du Pré-Saint-Gervais, ces niveaux géologiques ne présentent pas les caractéristiques requises pour contenir du gypse en quantité suffisante pour introduire des conditions de risques de remontée de fontis ou de décompressions jusqu'à la surface.

Ce risque lié à la dissolution des gypses ante ludiens n'est donc pas traité dans ce rapport.

Pour la 4^{ème} Masse de gypse marinésienne, cet horizon est suffisamment proche de la 3^{ème} Masse de gypse pour être assimilé à du risque de dissolution ludienne.

3. Description sommaire des désordres

Les désordres de surface sont consécutifs à la présence de vides dans les bancs de gypse et à l'effondrement des terrains sus-jacents ou des remblais de carrières à ciel ouvert et de leurs tassements différentiels.

Ces anomalies peuvent être de deux origines :

- anthropiques, l'homme ayant exploité les bancs de gypse et des marnes en carrières souterraines ou à ciel ouvert (remblais) ;
- naturelles, dues à la dissolution du gypse par l'eau ou aux phénomènes de versant.

Les vides liés aux carrières souterraines ou créés dans les remblais de ciel ouvert, peuvent remonter vers la surface après affaissement des terrains qui les recouvrent et provoquer alors, selon la hauteur du recouvrement, soit une cuvette appelée *affaissement* soit une cavité appelée "*fontis*". Les affaissements et les fontis sont des phénomènes localisés, d'une forme circulaire et de diamètre plus ou moins grand.

Avec les phénomènes de versant, on peut rencontrer des effondrements localisés, parallèles entre eux et perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, plus connus sous le vocable d'écroulements, bien que le terme soit impropre puisqu'il n'y a pas de basculement de blocs. En revanche, ces écroulements existent bien en limite de falaises au niveau des entrées en cavage.

Lorsque l'effondrement est brutal et concerne une grande partie de la carrière, on parle d'un *effondrement généralisé* de carrière souterraine, par rupture des piliers de toute une zone.

Des désordres peuvent être constatés au-dessus des exploitations connues de gypse. Ce sont soit :

- des fontis d'importance et de diamètre variables en fonction des caractéristiques de la carrière (nombre d'étages, superposition des piliers correcte ou non, hauteurs des galeries, discontinuités, épaisseur et nature des terrains de recouvrement).
- des zones d'affaissements ou de tassements différentiels.
- des zones d'effondrements importants pouvant être assimilés à des effondrements généralisés.

3. 1. Définition des aléas

Les aléas de mouvements de terrains liés aux exploitations souterraines et à ciel ouvert, sont explicités ci-après. Les aléas « carrière » décrits pour les carrières à ciel ouvert ne concernent que celles qui ont été remblayées par les carriers avec des matériaux d'origines diverses et des terrains remaniés laissés sur place, plus particulièrement des stériles contenant encore du gypse.

3.1.1 Aléas liés à la remontée à la surface des désordres dus aux anciennes carrières souterraines et à ciel ouvert et aux karsts.

- **Les affaissements** sont des désordres ponctuels, visibles en surface, se présentant sous forme de cuvettes et consécutifs à la lente fermeture de vides profonds. Ils se forment par ruptures successives des différents horizons formant le recouvrement du vide initiateur.

Ils résultent de trois phénomènes de remontée de décompression par :

| • Un fontis d'origine profonde qui s'est auto colmaté mais qui a décomprimé tous les terrains sus-jacents. Il reste toujours des petits vides résiduels en profondeur qui continuent à évoluer très lentement.

| • Un fontis d'origine moins profonde mais qui survient dans une zone partiellement remblayée et qui s'auto-colmate de la même façon que dans le cas du phénomène précédent.

| • Les horizons sus-jacents au vide initial ne sont pas suffisamment résistants (bancs restant en toit insuffisamment épais) pour que le vide puisse s'agrandir sous la dalle de toit, par dissolution ou par tassement de remblais. On dit que l'effet de voûte est impossible. Les terrains supérieurs s'affaissent progressivement sans qu'un vide franc ne remonte et n'apparaisse à la surface. Les terrains continuent à se décompresser tant que le phénomène initiateur n'a pas cessé.

C'est à cette dernière catégorie de remontée de vides que s'apparentent les tassements de remblais de carrière à ciel ouvert avec des vides moins importants et plus diffus sur la hauteur de remblais.

Leur importance varie entre la simple "flache" de quelques centimètres à quelques mètres. Ils sont peu profonds et ne présentent pas un danger immédiat de rupture brutale.

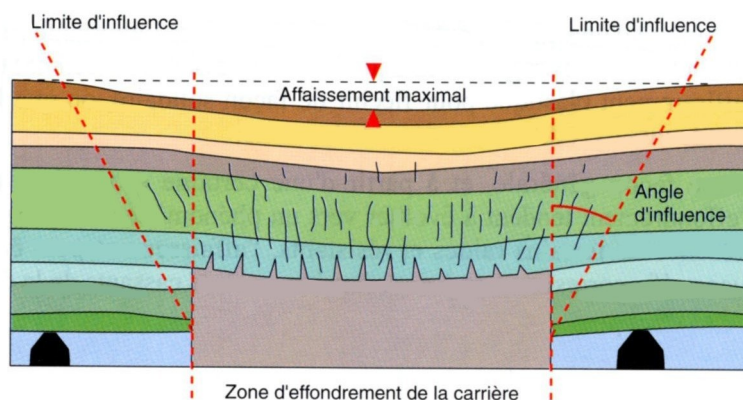



Figure 9 : schéma d'un affaissement général d'une carrière

Ils peuvent se généraliser à une grande partie de l'exploitation. Mais comme les tassements sont lents, leurs effets ne se remarquent que par la décompression des terrains sus-jacents aux zones sous-minées. Toutefois, à la faveur d'un incident, le tassement peut être localement accentué, en ce cas un affaissement apparaît.

 Sur les bâtiments, ces affaissements créent des tassements différentiels sur les fondations qui se traduisent par des fissures plus ou moins importantes et plus ou moins ouvertes, parfois traversantes, allant de la dégradation du ravalement à la ruine des murs porteurs ou des fondations, en passant par le blocage des portes et fenêtres.

Ils peuvent provoquer par contre des altérations ou des ruptures de canalisations (eaux, égouts, gaz, ...). Les fuites de ces canalisations peuvent avoir des conséquences non négligeables sur l'évolution à court terme du site.

- **Les fontis** sont des effondrements ponctuels initiés par la rupture progressive des premiers bancs du toit par flexion ou par cisaillement sur les appuis, cela en raison d'une largeur de galerie excessive eu égard à la résistance des dalles rocheuses en toit, qui sont le plus souvent fracturées. Le processus se développe alors verticalement et provoque la formation d'une "cloche de fontis".

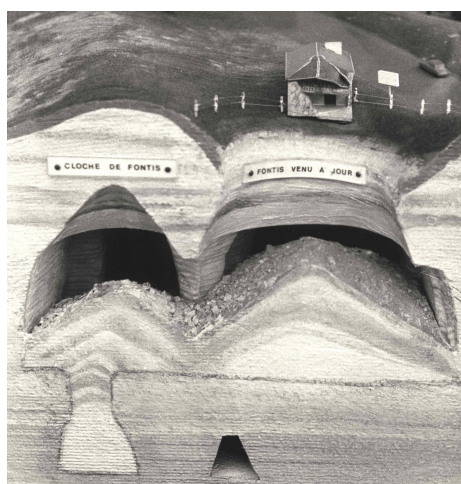


Photo 2 : Maquette de l'Inspection générale des carrières, montrant 2 étapes du mécanisme d'un fontis sur une carrière souterraine de gypse

Ce risque est présent sur la commune du Pré-Saint-Gervais plus particulièrement pour les intersections de galeries dans le gypse, exploité par la méthode des piliers tournés, là où les contraintes de traction dans le ciel de carrière sont maximales.

L'épaisseur du banc séparatif entre deux étages peut également être faible, notamment quand les marnes à Fer de Lance ont été exploitées. Dans ce cas, il y a un risque de rupture du banc entre les différents niveaux d'exploitation. De même, le poinçonnement du plancher (sol de la carrière) par les piliers est à craindre quand le banc du matériau résiduel en base est trop mince. En ce cas le fontis peut intéresser les 2 étages de carrière et être plus important en surface.

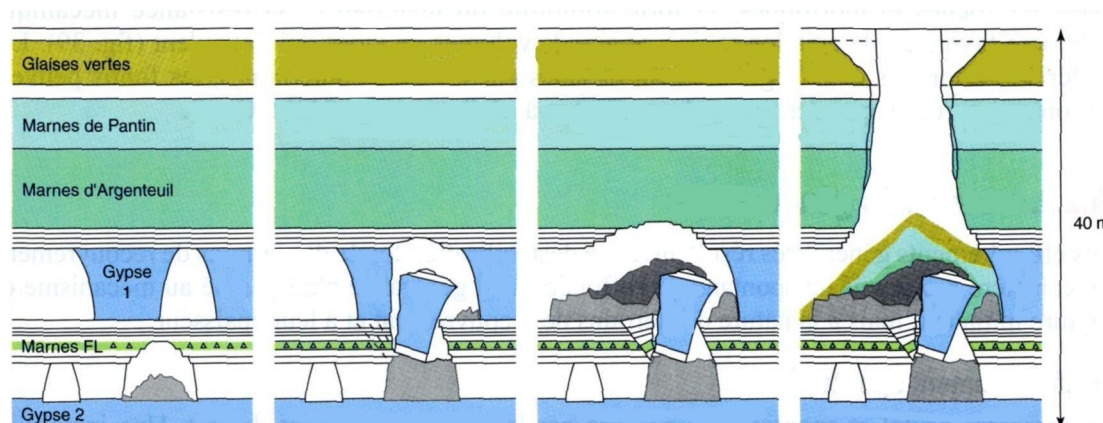



Figure 10 : schéma d'une venue à jour de fontis sur 2 étages de carrières de gypse

La superposition de plusieurs niveaux accélère l'apparition des fontis et accentue leur diamètre. Une mauvaise superposition des piliers d'un étage à l'autre accentue le phénomène.


Le décapage des couches argileuses sus-jacentes réduit la protection naturelle des niveaux gypseux contre l'eau. De plus ces couches marno argileuses, du recouvrement immédiat, contiennent des intercalaires gypsifères qui peuvent se dissoudre sous l'action de l'eau, ce qui accentue la disparition de la protection naturelle des exploitations sous jacentes.

Le recouvrement intervient également dans le processus de dégradation tant par son épaisseur (poids des terres) que par sa nature (bancs plus ou moins durs faisant ou non effet de voûte). Il induit des contraintes verticales (ou obliques en bordure de versant) dans le toit et les piliers, et influe sur la rapidité de la venue à jour des fontis. Plus les vides résiduels sont importants par rapport à la hauteur de recouvrement plus la probabilité d'apparition de fontis est forte. Plus les tassements différentiels sont importants en bordure de front de taille, plus le ciel de carrière aura tendance à céder du fait de l'augmentation des contraintes de cisaillement.

 Sur les bâtiments, l'apparition d'un fontis se traduit par la perte de sol de fondation. Si le bâtiment n'a pas de structure rigide des fondations, les murs porteurs cassent entraînant la ruine de tout ou partie du bâti, en fonction de la taille du fontis et du point de survenance du phénomène. Les canalisations peuvent se rompre sur le moment ou à court terme après l'évènement par flexion, dans le vide.

totalité ou une grande partie du volume affecté par l'exploitation. Celle-ci présente une extension horizontale minimale (L) supérieure à la hauteur (H) du recouvrement, ce qui du point de vue de la stabilité correspond à une géométrie dite critique ou supercritique avec un rapport $L/H > 1$. Ce type de ruine est lié à l'enfoncement et à la rupture des piliers, qui s'observe au soufflage du mur (enfoncement par poinçonnement des piliers dans un niveau sous-jacent de nature marneuse lorsque la dalle de gypse au mur est d'épaisseur insuffisante).

L'apparition de ce phénomène est caractérisée d'une part par une bonne résistance à la traction du banc formant le toit, propriété que ne possèdent pas le gypse, et d'autre part par une exploitation intensive en pied de carrière laissant une couche insuffisamment épaisse en pied pour résister à la surcharge des piliers en place.

 Le bâti est totalement détruit par la violence du phénomène.

• Les débourages de puits

Les anciens puits de service ou d'extraction n'ont pas toujours été comblés complètement, voire pas du tout, et ceinturés correctement à leur base. Dans le cas d'un bourrage partiel ou ancien, les infiltrations d'eau provoquent des tassements et des boues peuvent se répandre dans les anciennes galeries, si la tête du puits n'a pas été sécurisée par une plaque (puits accessible) ou une dalle de diamètre plus important, un déboufrage du puits est possible, provoquant en surface un trou de diamètre au moins égal à celui du puits initial (de 1,20m à 4m).

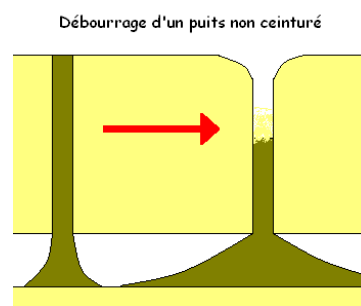


Figure 11 : schéma montrant un déboufrage de puits

• les zones de karst

Le gypse est soluble à 2g/l dans de l'eau pure. Cette solubilité augmente dans une eau chargée. Des réseaux karstiques plus ou moins importants peuvent se développer, en fonction de la dureté des bancs sus-jacents. Toutefois la dissolution du gypse nécessite des circulations d'eau non saturée en sulfate assez importantes.

Les phénomènes de dissolution sont visibles à l'échelle humaine pour le gypse. Les zones où des vides ont été créés par dissolution sont soumises aux deux premiers phénomènes : le fontis et l'affaissement en fonction de la résistance mécanique à la traction de l'horizon géologique au-dessus du vide qui se forme. L'évolution mécanique due à la déstabilisation des terrains, sus-jacents au vide, peut être plus rapide que la dissolution du gypse.

On peut rencontrer dans les 1^{ère} et 2^{ème} Masses de gypse et dans les marnes intercalaires, notamment celles à fers de lance, de petits réseaux karstiques.

3 1 2 Les falaises et les glissements de terrain (liés aux carrières)

Des risques significatifs de mouvements de sol peuvent être liés en partie à l'exploitation des carrières à ciel ouvert et souterraines de gypse ludien qui a généré l'existence de falaises. Les entrées en cavage sont des endroits fragiles qui risquent de s'effondrer s'ils sont soumis à de fortes contraintes.

Outre ces falaises, des talus de déblai trop raides parfois situés au-dessus des fronts de taille, ou des mises en dépôt anarchiques de stériles, accompagnés de terrains de recouvrement déstructurés et argileux, sont aussi à l'origine de glissements de terrain répétitifs.

En bordure de versant, à proximité des entrées en cavage ou des talus, il est fréquent de rencontrer des diaclases ouvertes dans les premiers mètres de l'exploitation. S'ajoutent à ces diaclases, un ripage et une dissolution des bancs de gypse, ce qui explique que les entrées en cavage sont généralement renforcées par des voûtes ou remblayées.

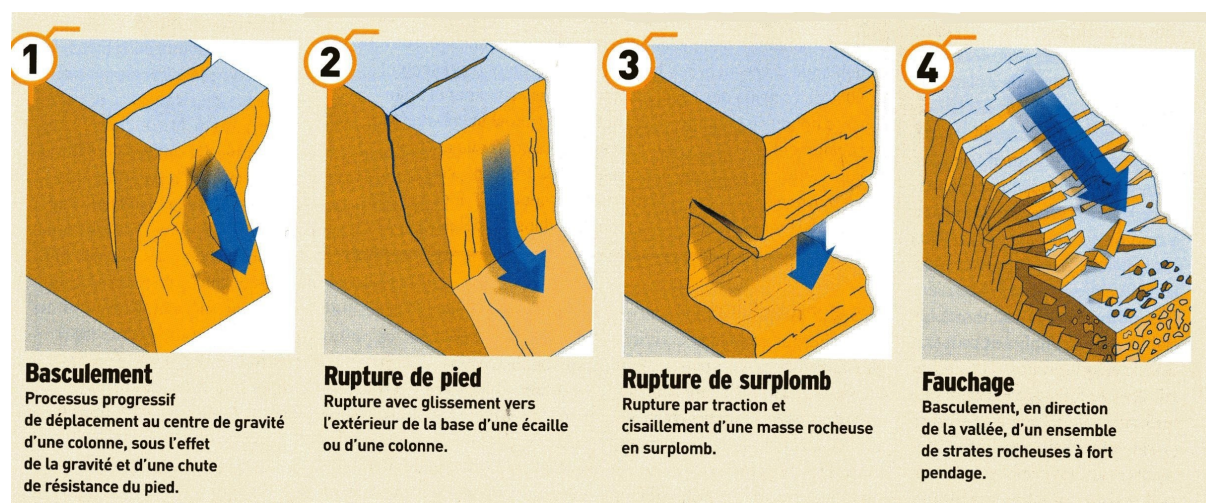


Figure 12 : schéma des événements susceptibles d'intervenir en bordure de versant, sous les remblais de carrière à ciel ouvert, plus particulièrement au niveau des anciennes entrées en cavage ou des fronts de taille (ligne de crêtes).

Ces mouvements de terrain sont traités dans d'autres rapports concernant le Plan de Prévention des Risques liés aux mouvements de terrain : phénomènes de glissements de talus, éboulements, solifluxion, instabilités de falaises, retrait – gonflement des argiles, ...

3 2. Facteurs aggravant le processus de dégradation des carrières

De quelque nature qu'ils puissent être, les processus de dégradation des carrières qui engendrent des situations accidentelles, résultent souvent d'une combinaison entre une ou plusieurs configurations défavorables susceptibles de modifier les conditions d'équilibre du milieu et d'accélérer la rupture. Ces configurations sont généralement dues au contexte géologique, hydrogéologique du site mais aussi géographique et humain :

↳ Les zones où des éboulements se sont produits, présentent de fortes probabilités d'infiltrations d'eau.

- ↳ Les zones où des exploitations à ciel ouvert ont été exploitées puis remblayées avec des matériaux perméables ou gypseux, présentent de fortes probabilités d'infiltrations d'eau.
- ↳ La présence d'eau peut avoir une grande influence sur les propriétés mécaniques des matériaux exploités et des terrains de recouvrement et donc sur la stabilité des ouvrages.
- ↳ Les circulations d'eau peuvent également entraîner les particules fines argileuses ou silteuses qu'elles rencontrent dans le sol et provoquer ainsi l'apparition de décompressions dans les horizons traversés.
- ↳ Dans les zones où la couverture, en place, est importante, les venues d'eau ont peu d'influence sur la dégradation de la carrière, sauf autour des fontis et des puits. Il en est de même pour la dissolution, autour des fontis.
- ↳ Le modelé du site (déclivité, talus non soutenus, falaises laissées à nu dans les terrains) a des conséquences directes sur la stabilité des carrières, plus particulièrement au niveau des entrées en cavage. Les contraintes dans le sol, dues aux terrains de recouvrement deviennent obliques et les piliers de carrière ne sont pas toujours dimensionnés pour les reprendre. Au niveau des falaises cachées par les remblais, les infiltrations d'eau accentuent l'ouverture des fissures ou diaclases dans les terrains de couverture et le toit de la carrière.
- ↳ L'absence d'assainissement dans certaines zones, les fuites de réseau, les cuves non étanches, même anciennes, les anciens réseaux en grès cassés ou abandonnés, sont des facteurs aggravants non négligeables puisqu'ils représentent autant de sources d'eau non saturée en sulfates dans le sol. Ces venues d'eau ont une grande importance sur l'intensité de la dissolution du gypse. Ainsi, les dissolutions sont d'autant plus fortes que l'eau peut se renouveler rapidement par rapport à de l'eau stagnante dans le sol qui, une fois saturée, ne dissout plus le matériau environnant.
- ↳ Dans les zones d'anciens thalwegs, la dissolution est, en premier lieu, fossile, due aux cycles de glaciations – dégel du début du Quaternaire et à la présence d'un ru pendant un certain temps, ou active par le drain que le thalweg a créé dans le sol.
- ↳ Dans les zones où existent d'anciens captages dont on ne connaît plus ni le tracé ni le devenir des anciennes canalisations de récupération des eaux.
- ↳ Enfin un fort couvert végétal, en particulier quand il présente des essences à racines abondantes et profondes. Ces dernières passent par les fissures en toit de carrière et se développent en pied. En grossissant elles accentuent les venues d'eau en carrière et éclatent le ciel, voire les piliers tournés.

4. Inventaire des carrières connues au Pré-Saint-Gervais

4.-1. Inventaire des carrières à ciel ouvert connues

Les carrières à ciel ouvert sont les carrières les plus nombreuses sur la commune du Pré-Saint-Gervais. Elles regroupent les carrières de gypse et de « marnes à ciment » (Marnes Supra Gypseuses). Les mieux connues sont celles de gypse.

↳ Les carrières de Marnes Supra Gypseuses

Les carrières de Marnes Supra Gypseuses sont repérées par les lignes de crête et l'épaisseur des remblais. Ces exploitations sont très mal connues. Situées dans le secteur où ce matériau est pseudo affleurant, les carriers y travaillaient à ciel ouvert, participant ainsi à la découverte des gypses ludien exploités eux-mêmes à ciel ouvert.



Figure 13 : extrait de la carte géologique minute du Pré-Saint-Gervais, établie au 5000ème

Les épaisseurs de remblais, rarement connues, attestent la présence d'exploitation de ce matériau. Elles peuvent atteindre 15 mètres. Apparemment les Glaises Vertes n'ont pas été exploitées.

↳ Les carrières de gypse ludien à ciel ouvert :

Schématiquement, en fonction de la géologie et de la topographie du talus Nord du versant au Sud du Pré-Saint-Gervais, on peut rencontrer des affleurements tels que le banc à exploiter est directement accessible. Les terrassements ont affecté tout ce secteur au Nord de la Place Séverine, jusqu'à la rue Jules Jacquemin.

C'est essentiellement la Haute Masse de gypse qui a été terrassée, mais localement la 2^{ème} Masse a été aussi extraite à ciel ouvert, donnant jusqu'à 32 mètres d'épaisseur de remblais

Les Limites de ces carrières sont très mal connues et leur présence est le plus souvent révélée par des sondages de reconnaissance de sol.

✓ Le secteur Ouest du Pré-Saint-Gervais

Des carrières à ciel ouvert de gypse de 2^{ème} et 3^{ème} Masses de gypse existent sous le périphérique parisien. Toutefois, les lignes de crête et la présence importante de formations de pente sur la partie Ouest de la commune montrent que ces carrières n'ont pas été poursuivies vers l'Est.

Les carrières à ciel ouvert décrites ici ont été remblayées par les carriers avec des matériaux d'origines diverses et des terrains remaniés laissés sur place, plus particulièrement des stériles contenant encore du gypse.

4. 2. Inventaire des carrières souterraines connues

Les carrières souterraines du Pré-Saint-Gervais sont essentiellement des carrières de 2^{ème} Masse de gypse. L'exploitation à ciel ouvert de Haute Masse a été poursuivie en souterrain, sur une très faible superficie.

✓ La carrière souterraine de 2^{ème} Masse s'inscrit dans les limites des exploitations à ciel ouvert de Haute Masse et se poursuit sur les deux communes voisines : Pantin et Les Lilas.

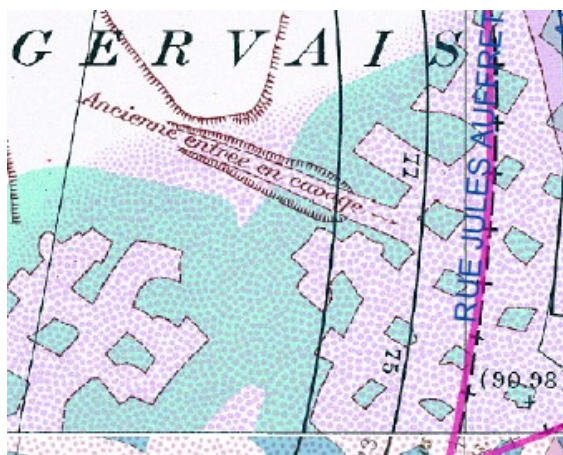


Figure 14 : extrait de l'atlas des carrières, réalisés au 1000ème, montrant une ancienne entrée en cavage

Elles englobent l'avenue Paul Vaillant Couturier et se poursuivent au-delà de la limite Est de la commune. Elles s'arrêtent à une quarantaine de mètres au Nord de la Place Séverine, pour une superficie d'environ 8000m².

L'épaisseur du recouvrement atteint 32 mètres dans la partie la plus Sud Est. La hauteur des exploitations atteint 4 mètres au maximum. Elles sont présumées remblayées.

Les piliers tournés ont des formes irrégulières et, lorsque la carrière sous-mine une exploitation souterraine de Haute Masse, les piliers tournés ne se superposent pas.

✓ Les carrières souterraines de la Haute Masse de gypse sont à l'Est du secteur : elles concernent pour moins de 1000m² la commune du Pré-Saint-Gervais.

La limite Ouest de cette carrière est très mal connue et semble s'ouvrir vers une fosse profonde où les deux masses de gypse ont été extraites à ciel ouvert (ancien carreau de

carrière ?). A l'Est, le recouvrement peut atteindre 23 mètres de hauteur et les galeries 7 mètres. Elle est présumée remblayée.

Toutefois, étant donné la cote du niveau géologique exploité et les renseignements recueillis sur la commune voisine des Lilas, les Marnes à Fers de Lance ont pu être extraites, fragilisant ainsi le toit de la carrière de 2^{ème} Masse sous-jacente.

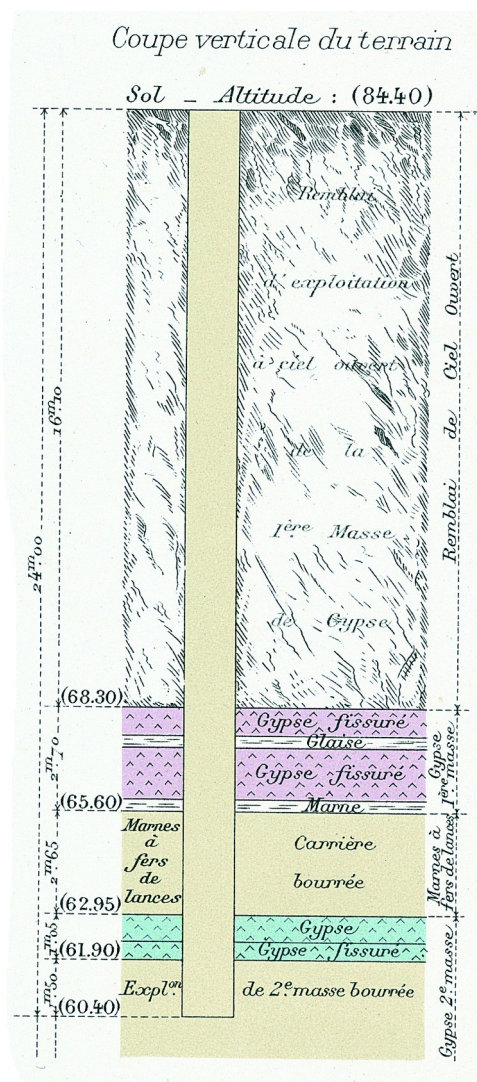


Figure 15 : coupe verticale de terrain, cimetière communal des Lilas

Sous l'avenue Faidherbe, les carrières des deux masses ont été injectées pour la mise en sécurité de la voirie.

- ✓ La Troisième Masse de gypse n'a apparemment pas été exploitée.

4.3 - Les karsts gypseux

Dans les carrières de gypse ludien, il n'est pas rare de rencontrer des diaclases ouvertes. Ces diaclases avec les phénomènes dus aux versants entraînent des décalages dans les blocs de gypse (improprement appelés failles), ainsi que des éboulements. Ces diaclases ouvertes

facilitent les circulations d'eau et la création de réseau karstiques. Les carrières n'étant plus visitables, aucun phénomène de ce type n'a pu être repéré sur place, mais il ne peut être écarté.

Pour le reste de la commune du Pré-Saint-Gervais, plusieurs sondages indiquent des phénomènes de pseudomorphoses dans le Ludien (paragraphe 2.3.2), siège des Masses et Marnes du gypse. Ailleurs, les horizons sus-jacents au Calcaire de Saint-Ouen ne sont pas distingués, probablement en raison des mauvaises caractéristiques de ces terrains.

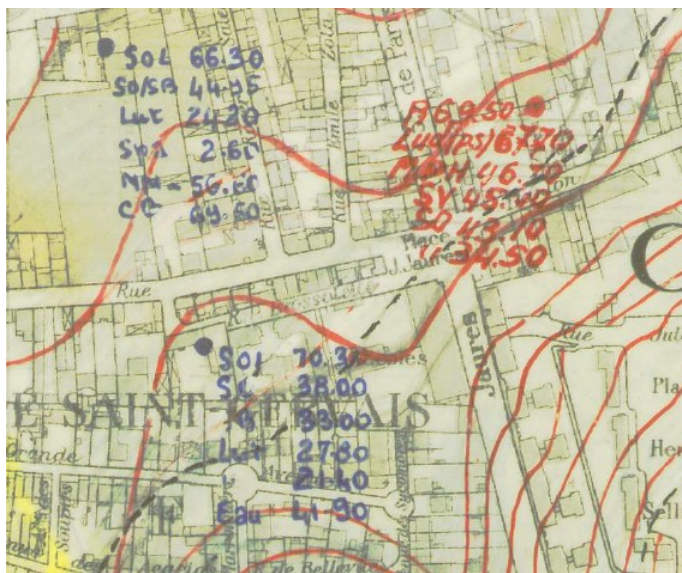


Figure 16 : extrait de la carte géologique minute du Pré-Saint-Gervais établie au 5000^{ème}

Lud : Ludien, (ps) : pseudomorphose, MPH : marnes à Pholadomies, SO : Calcaire de Saint-Ouen, SB : Sables de Beauchamp, Lut : Lutétien, Spa : Sparnacien, MM : Marnes de Meudon, CB : craie blanche

5. Etude et répartition des aléas au Pré-Saint-Gervais

La notion d'aléa prend en compte la susceptibilité d'occurrence d'un phénomène attendu et son ampleur.

5 1 - Evaluation de l'aléa pour les carrières

L'intensité de l'aléa est définie à partir de plusieurs critères qui sont :

- la présence de cavités,
- le contexte géologique et hydrogéologique de l'environnement,
- la présence de facteurs aggravants.

- **La présence de cavités, anthropiques ou naturelles**

Compte tenu de l'échelle de travail (1/5000), on admettra que toutes les cavités sont semblables : leur taux de défrètement moyen avoisine 65 % à 70%, et les épaisseurs résiduelles de gypse au toit et au mur n'excèdent pas 1 mètre.

Les critères géométriques de l'exploitation (section des galeries, disposition des piliers et leur superposition d'un étage à l'autre, épaisseur des bancs) ainsi que les critères géotechniques (comportement mécanique, état d'endommagement des toits, des piliers, épaisseur des bancs résiduels) sont déterminants pour l'évaluation de l'aléa.

La superposition de plusieurs cavités est aussi un facteur important.

- **Le contexte géologique et hydrogéologique de l'environnement**

La hauteur de recouvrement (puissance) ainsi que ses caractéristiques géologiques et géotechniques sont décisifs pour caractériser l'aléa.

Ce contexte détermine l'intensité de l'aléa, notamment à partir des critères suivants :

- si la carrière est à faible profondeur ;
- si le front de taille est peu protégé par des couches argileuses imperméables ;
- si l'exploitation est à ciel ouvert et les remblais de comblement sont des matériaux hétérogènes parfois perméables permettant des dissolutions ou des entraînements d'éléments fins par l'eau.

- **Les facteurs aggravants**

Ils ont été détaillés dans le paragraphe 3.2. Il s'agit essentiellement de la présence d'eau qui peut avoir une grande influence sur les propriétés mécaniques des terrains, et donc sur la dégradation des carrières.

Pour une carrière souterraine de gypse par exemple, les couches imperméables des terrains de recouvrement la protégeront de l'altération des eaux météoriques, mais la

présence de nombreux fontis peut annihiler localement cette protection en favorisant des infiltrations des nappes sus-jacentes vers la carrière.

Sur ces bases, on peut considérer que les risques de fontis et/ou d'affaissement sont très élevés sur toutes les zones concernées par les anciennes carrières souterraines vides ou partiellement remblayées.

5.2. - Caractérisation et cartographie de l'aléa pour les carrières

Nous avons retenu quatre niveaux d'aléas (très fort, fort, modéré, faible), une zone de protection et une marge de reculement.

Ces deux zones sont définies à partir de la limite connue de la carrière (front de taille).

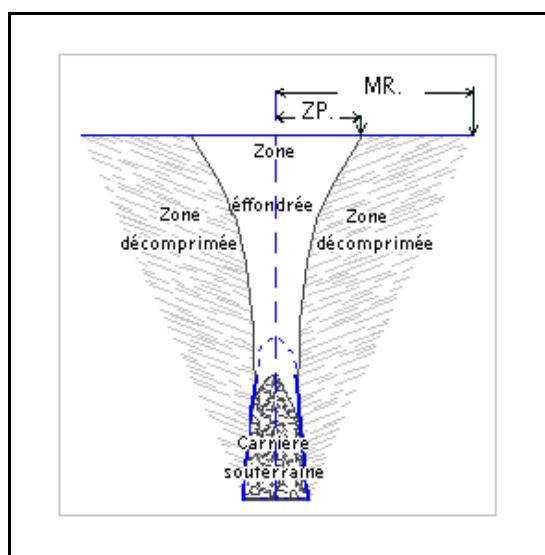


Figure 17 : Schéma zone de protection - marge de reculement

Une carrière est dite « remblayée » lorsqu'elle a fait l'objet de travaux de remblaiement mais que des vides résiduels décimétriques peuvent subsister.

Une carrière est dite « consolidée » lorsque les vides résiduels, après remblaiement, ont été comblés et clavés, que les remblais de carrières, les terrains décomprimés et les fontis ont été traités par injection sous pression.

5.2.1. Zones de protection et marge de reculement

Zone de protection (ZP)

La zone de protection correspond à la bande de terrain, bordant les emprises sous minées, susceptible de s'effondrer durant, ou relativement peu de temps après la survenance d'un fontis en surface à partir d'une carrière souterraine (voir schéma plus haut).

Le délai d'apparition de ces effondrements, et l'extension horizontale de ceux-ci, sont fonction de la dynamique de l'évènement.

Ce débord est dimensionné à partir d'une estimation du diamètre des fontis formés en surface, dans des conditions similaires d'exploitation, sa largeur est fixée à :

- ZP = 0 mètre si la carrière est consolidée (aucun vide ne subsiste) ou au niveau des entrées en cavage ;

- ZP = 5 mètres dans le cas des carrières souterraines remblayées de gypse de 2^{ème} Masse ;
- ZP = 10 mètres dans le cas d'une carrière souterraine remblayée de 1^{ère} Masse seule ou d'une carrière souterraine de 2^{ème} Masse remblayée mais sous une carrière à ciel ouvert ;
- ZP = 20 mètres dans les autres cas.

Quand les dénivellations topographiques le permettent, la largeur de cette zone est réduite, en fonction de la pente.

Marge de reculement (MR)

La marge de reculement représente la zone d'influence d'un événement qui s'est produit en surface, ou qui est susceptible de se produire (voir schéma plus haut). Au-delà de cette zone, aucun désordre n'est à craindre pour les aménagements de surface.

La largeur de cette bande de terrain exposée aux effets latéraux des effondrements est fixée :

- MR = 0 mètre dans le cas des carrières consolidées et des entrées en cavage ;
- MR = 10 mètres dans le cas des carrières souterraines remblayées de gypse de 2^{ème} Masse ;
- MR = 20 mètres dans le cas d'une carrière souterraine remblayée de 1^{ère} Masse seule ou d'une carrière souterraine de 2^{ème} Masse remblayée mais sous une carrière à ciel ouvert ;
- MR = 40 mètres dans les autres cas.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des zones de protection et des marges de reculement

| | 0 m | 5 m | 10 m | 20 m | 40 m |
|----|--|--|--|--|---------------------|
| ZP | Carrière consolidée, entrée en cavage | Carrière remblayée de 2 ^{ème} Masse | Carrière de 2 ^e Masse sous carrière à ciel ouvert ou carrière remblayée de 1 ^{ère} Masse | Tous les autres cas | - |
| MR | Carrières consolidées et entrées en cavage | - | Carrière remblayée de 2 ^{ème} Masse | Carrière de 2 ^e Masse sous carrière à ciel ouvert ou carrière remblayée de 1 ^{ère} Masse | Tous les autres cas |

5.2.2. Détail des aléas

Dans le cas des anciennes carrières, l'aléa se définit en fonction de sa probabilité d'occurrence et de son impact sur les personnes et les biens. Contrairement à d'autres types d'aléas qui sont

confrontés à une périodicité de retour, les principaux aléas de carrière, tels le fontis et l'effondrement généralisé, ne se produisent a priori qu'une fois.

L'intensité de l'aléa se définit en fonction des dégâts produits : blessures ou risque d'atteinte à la vie des personnes, fissurations plus ou moins importantes du bâti, voire mise en péril ou ruine des fondations ou de la structure.

Les grilles ci-dessous présentent les 4 niveaux d'aléas, liés aux carrières, retenus en fonction des critères énoncés précédemment.

Tableau 2 : Trois niveaux d'aléas pour les carrières à ciel ouvert

| Matériaux | Gypse ludien | | | Marnes supra gypseuses | | |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|------------------------|---------|-----------|
| | Carrières | Avérées | Supposées | Traitées | Avérées | Supposées |
| Aléa | Fort | Modéré à faible | Modéré à faible | Modéré | Faible | Faible |

Tableau 3 : Quatre niveaux d'aléas pour les carrières souterraines

| cas | Gypse | |
|---|---|-------------------------------|
| | <i>Sous faible recouvrement ou exploitation à ciel ouvert de Marnes Supra Gypseuses</i> | <i>Sous fort recouvrement</i> |
| Fontis repéré non apparu en surface | <i>Très fort</i> | <i>Très fort à fort</i> |
| Galeries vides ou partiellement remblayées d'origine | <i>Très fort</i> | <i>Fort</i> |
| Galeries « remblayées » | <i>Fort</i> | <i>Modéré</i> |
| Galeries « remblayées » clavées | <i>Modéré</i> | <i>Faible</i> |
| Galeries « consolidées » | <i>Faible</i> | <i>Faible</i> |
| Exploitation souterraine présumée | <i>Fort</i> | <i>Modéré</i> |
| Puits d'accès non ceinturé | <i>Fort</i> | <i>Modéré à fort</i> |

Ces niveaux d'aléas ont été cartographiés à l'échelle 1/5000.

Sont classées en **aléa très fort** :

- ✓ Les zones de carrières souterraines de gypse non « consolidées », non « remblayées », où le risque de fontis et/ou d'affaissement est par conséquent très grand ;
- ✓ Les zones de carrières souterraines de gypse non « consolidées », non « remblayées » avec des galeries vides ou partiellement remblayées d'origine, sous faible recouvrement ou avec une carrière à ciel ouvert sus-jacente de Marnes Supra Gypseuses et/ou éventuellement de Haute Masse;
- ✓ Les zones de protection autour des carrières souterraines classées en aléa très fort.

Sont classées en **aléa fort** :

- ✓ Les carrières de gypse à ciel ouvert dont les limites sont connues et n'ayant fait l'objet d'aucun traitement particulier,
- ✓ Les zones de carrières souterraines de gypse non consolidées, non « remblayées », quand le recouvrement est important ;
- ✓ Les zones de carrières souterraines « remblayées » du gypse sous faible recouvrement ou en présence de carrière à ciel ouvert de Marnes Supra Gypseuses et/ou éventuellement de Haute Masse ;
- ✓ Les zones où l'existence de cavités, dans le gypse, sous faible recouvrement, est probable (ancien plan, indices en surface...) mais dont les limites n'ont pas été reconnues, et où le risque de fontis et/ou d'affaissement est grand ;
- ✓ Les zones de carrières souterraines de gypse, non « consolidées », non « remblayées » où les vides résiduels sont minimes, quand le recouvrement est important ;
- ✓ Les zones de puits d'accès non sécurisées en carrière souterraine non remblayée;
- ✓ Les zones de protection correspondant aux carrières souterraines classées en aléa fort ;
- ✓ Les marges de reculement autour des carrières souterraines classées en aléa très fort (du fait de la décompression éventuelle des terrains en cas de fontis).

Sont classées en **aléa modéré** :

- ✓ Les carrières de gypse à ciel ouvert dont les limites sont mal connues ou traitées sans injections,
- ✓ Les carrières de Marnes Supra Gypseuses à ciel ouvert, sur masses de gypse intactes, où aucun traitement particulier n'a été fait, notamment en bordure de terrassement ;
- ✓ Les carrières souterraines de gypse sous fort recouvrement, « remblayées » par remblaiement mécanique ou par injection gravitaire;
- ✓ Les carrières souterraines de gypse, sous faible recouvrement, « remblayées » par remblaiement mécanique ou par injection gravitaire, avec clavage, sans traitement des terrains de recouvrement ;
- ✓ Les zones de puits d'accès non ceinturés en carrière dans le cas de carrière de gypse remblayée ;

- ✓ Les zones de protection correspondant aux carrières souterraines classées en aléa modéré ;
- ✓ Les marges de reculement autour des carrières souterraines classées en aléa fort ;

Sont classées en **aléa faible** :

- ✓ Les carrières de gypse à ciel ouvert dont les limites sont connues et « remblayées » avec traitement particulier ;
- ✓ Les carrières de Marnes Supra Gypseuses, à ciel ouvert, ayant subi un traitement particulier ;
- ✓ Les carrières de Marnes Supra Gypseuses, à ciel ouvert, dont l'existence est fortement supposée ;
- ✓ Les zones où l'existence de cavités est probable, mais dont les limites ne sont pas connues, et où le risque de fontis et/ou d'affaissement est faible du fait de la hauteur de recouvrement importante.
- ✓ Les carrières souterraines de gypse, sous faible recouvrement, remblayées par remblaiement mécanique ou par injection gravitaire, avec clavage, avec traitement des terrains de recouvrement ;
- ✓ Les carrières souterraines de gypse, sous fort recouvrement, remblayées par remblaiement mécanique ou par injection gravitaire, avec clavage, avec ou sans traitement des terrains de recouvrement ;
- ✓ Les carrières « consolidées » ;
- ✓ Les zones de protection correspondant aux carrières souterraines classées en aléa faible, autres que « consolidées » ;
- ✓ Les marges de reculement des zones classées en aléa modéré.

Ces aléas sont indiqués sur la carte des aléas dus aux mouvements de terrain liés aux carrières, au 1/5000 du Pré-Saint-Gervais par la légende :

- aléa très fort : zone marron
- aléa fort : zone orange
- aléa modéré : zone jaune
- aléa faible : zone verte.

LEXIQUE

Abattage : Action de faire tomber un bloc de pierre d'un front de taille

Affleurement : partie d'un terrain visible à la surface de la Terre.

Anticlinal : pli (déformation résultant de la flexion ou de la torsion des roches) dont les éléments situés à l'intérieur de la courbure étaient, à l'origine, les plus profonds.

Assise : Ensemble de bancs de pierre possédant les mêmes caractéristiques.

Atelier : Niveau d'exploitation où travaillaient les carriers, dans les carrières souterraines. Le mot chantier est plutôt réservé aux carrières à ciel ouvert.

Atelier supérieur : Etage le plus haut de l'exploitation.

Banc : couche naturelle de pierre se terminant au-dessus et au-dessous par une séparation nette, c'est la plus petite subdivision du terrain.

Banc de ciel : banc généralement dur laissé au-dessus des piliers d'une carrière pour en former le ciel ou le toit.

Banc de souchet : banc de pierre tendre, de l'étage supérieur, c'est par ce banc que les carriers attaquaient le plus fréquemment le front de taille.

Banc de volée : premier banc que l'on exploite au-dessus du Banc de souchet.

Banquette : plate forme de travail, aménagée dans le talus d'une fouille à ciel ouvert.

Bloc : masse de pierre, extraite ou éboulée, à l'état brut.

Bouche : ouverture, entrée dans une carrière souterraine, ouverture d'un puits.

Bourrage : remblais mis en place dans une carrière souterraine, lors de l'exploitation ou peu de temps après, en opposition avec les remblaiements actuels.

Carreau : terrain clos englobant les entrées des galeries ou des puits et les installations de surface de carrière.

Cavage : entrée, à flanc de coteau, d'une carrière souterraine.

Ceinture : anneau maçonné entourant un puits ou un fontis.

Chevillage : ensemble des pièces de bois maintenant les têtes de piliers d'une carrière de gypse.

Ciel : banc rocheux laissé en toit de carrière.

- ciel tombé : chute de blocs du banc du ciel.

- ciel ouvert : exploitation d'une carrière en plein air.

Cloche : Excavation qui se forme progressivement par suite de l'effondrement du ciel.

Découverte : ensemble des terrains qu'il faut enlever dans une carrière à ciel ouvert, pour atteindre la masse exploitable.

Dépilage : reprise d'extraction d'un pilier de masse, soit en vue d'un foudroyage, soit en vue d'une extraction partielle ou complète, à ciel ouvert, d'une ancienne carrière souterraine.

Epaufure : éclat ou entaille accidentels sur une pierre de taille ou sur les parois d'une carrière.

Étage de carrière : niveau d'exploitation, synonyme d'atelier. A ne pas confondre avec étage stratigraphique.

Étau de masse : partie non exploitée dans une carrière. Si l'étau est de faible épaisseur, on le dénomme aussi « rideau de masse » (on dit TRONC dans les carrières à ciel ouvert).

Feuillères : cavités formées par circulation d'eau le long d'une fissure, d'une diaclase. Elles peuvent mesurer de quelques centimètres à plusieurs mètres.

Les Fleurs : nom d'un banc de gypse formant généralement le ciel de carrière de la deuxième Masse.

Fluage : déformation lente que subit un matériau soumis à une contrainte permanente.

Fontis : effondrement local souterrain provoqué par éboulement dans un vide de dissolution ou de carrière, pouvant entraîner la formation d'un affaissement en surface.

Foudroiemnt : action de foudroyer ; fait d'être foudroyé.

Foudroyage : éboulement volontaire du toit dans le vide laissé à l'arrière de l'exploitation d'un chantier ou d'une carrière.

Four : partie haute d'un front de taille par laquelle les carriers commençaient souvent l'extraction du gypse.

Front de taille : surface verticale suivant laquelle on attaque la couche à exploiter.

Front de masse : limite des exploitations (à ciel ouvert ou souterraines).

Galerie : passage souterrain utilisé pour l'exploitation des carrières. Les dimensions sont variables et déterminées par :

- la hauteur des bancs à extraire ;
- la circulation pour l'évacuation des blocs ;
- la solidité du ciel.

Les rues (allées) sont perpendiculaires aux galeries.

Glaisière : carrière d'où on extrait la glaise.

Glissement de terrain : mouvement rapide, vers le bas, d'une partie du matériel d'un versant se détache en bloc, soit le long d'un plan de glissement déjà existant (diacalse, surface de stratification), soit avec formation d'une cassure souvent courbe.

Lit : plan parallèle à la stratification plus ou moins visible dans les carrières parisiennes.

Ludien : sous-étage du Tertiaire, correspondant à l'Eocène supérieur (sous époque du Tertiaire)

Lutétien : étage du Tertiaire correspondant à l'Eocène moyen

Marabet : banc gypseux caractéristique dans les Marnes Supra gypseuses.

Masse : ensemble des bancs exploitables d'une carrière :

- masse en ciel : banc exploitable laissé en surépaisseur dans le ciel ;

- masse en pied : banc exploitable laissé en surépaisseur sur un sol de carrière.

Météorique - eaux météoriques : eaux ayant leur origine dans l'atmosphère : pluie, neige, grêle, ...

Moie : portion tendre d'une pierre dure et compacte qui recouvre sa surface suivant le lit de la carrière.

Les Moutons : appellation d'un banc formant le ciel dans la Première Masse de gypse.

Mur : limite inférieure d'un gisement, d'un banc ou d'une formation.

Nez de pilier : partie supérieure d'un angle de pilier.

Pied : sol de carrière ou base d'un pilier.

Pilier à bras : pilier élevé en pierres sèches dans une carrière souterraine pour soutenir le ciel.
Synonyme : cale à bras.

Pseudomorphose : substitution d'un minéral par un autre mais en conservant la forme initiale du premier cristal.

Puisard : cavité d'érosion remplie de matériaux terreux apportés par les eaux ; on la rencontre dans la masse rocheuse en cours d'exploitation.
Se dit également d'un petit puits creusé en pied de carrière pour y recueillir les eaux parasites pendant l'exploitation ou après.

Puits d'aération ou d'aérage : puits, généralement de petit diamètre, créant avec d'autres puits un courant d'air destiné à ventiler la carrière.

Puits de service : puits servant à l'exécution des travaux en souterrain.

Purge : action de décoller et de faire tomber des épaufrures et des blocs instables.

Recherche : première galerie d'exploitation de l'étage supérieur, galerie d'avancement des travaux de débouillage. Galerie réalisée aussi lors de la recherche des îlots de carrières.

Récolement : vérification du tracé de la carrière fait sur la carte par rapport à la réalité.

Recouvrement : ensemble des terrains rencontrés au-dessus d'une carrière. Le banc de ciel est compris dans le recouvrement.

Les Rousses : banc caractéristique de la Haute Masse de gypse ; très fin, il fournit le plâtre à modeler.

Solifluxion : glissement de terrain en général lent dû au fait que les terrains sont gorgés d'eau, et s'écoulent comme une masse boueuse à partir d'une niche de décollement. Se rencontrent beaucoup dans les pays froids en période de dégel.

Stampien : étage géologique du Tertiaire correspondant à l'Oligocène (époque du Tertiaire), plus jeune que le Ludien.

Souchevage : opération qui consiste à enlever le « souchet » pour faciliter l'extraction du banc supérieur.

Taux de défruitement : pour une carrière souterraine, pourcentage des vides par rapport à la surface totale. Les surfaces sont comptées dans une section horizontale, à 1 m du pied de carrière.

Thalweg ou talweg : ligne du fond d'une vallée, suivie par le cours d'eau quand il en existe un. De façon plus abstraite : lieu géométrique du point le plus bas de chaque section transversale d'une vallée.

Toit : synonyme de ciel de carrière ; surface supérieure d'une masse ou d'une exploitation souterraine.

Tranche : galerie étroite percée dans la masse pour permettre un passage entre deux carrières ou pour traverser un étau.

Tréfonds : sous-sol d'un terrain considéré.

Trou de communication : puits ou passage ouvert dans le banc séparant deux étages.

Trou de service : ancien nom donné à un puits d'extraction.

Les Urines : nom d'un banc de la Haute Masse de gypse formant souvent le pied de carrière.