



**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





## Sommaire

ILLUSTRATIONS.....	<a href="#">4</a>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b><a href="#">5</a></b>
<b>1. MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b><a href="#">7</a></b>
<b>2. ANALYSE DES DONNÉES.....</b>	<b><a href="#">9</a></b>
2. 1. GÉOLOGIE DES LILAS APPLIQUÉE AUX CARRIÈRES.....	<a href="#">9</a>
2. 2. CONSÉQUENCE DE L'HYDROGÉOLOGIE SUR LES CARRIÈRES.....	<a href="#">11</a>
2. 3. EXPLOITATIONS DES MATÉRIAUX.....	<a href="#">12</a>
2. 3. 1. <i>Matériaux exploités et taux de défrètement</i> .....	<a href="#">12</a>
2. 3. 2. <i>Dissolutions de gypse</i> .....	<a href="#">15</a>
<b>3. DESCRIPTION DES DÉSORDRES.....</b>	<b><a href="#">15</a></b>
3. 1. DÉFINITION DES ALÉAS.....	<a href="#">16</a>
3.1.1 <i>Aléas liés à la remontée des désordres dus aux anciennes carrières souterraines et à ciel ouvert à la surface</i> .....	<a href="#">16</a>
3.1.2 <i>Les falaises et les glissements de terrain (liés aux carrières)</i> .....	<a href="#">20</a>
3. 2. FACTEURS AGGRAVANT LE PROCESSUS DE DÉGRADATION DES CARRIÈRES.....	<a href="#">21</a>
<b>4. INVENTAIRE DES CARRIÈRES CONNUES AU LILAS.....</b>	<b><a href="#">22</a></b>
4.-1. INVENTAIRE DES CARRIÈRES À CIEL OUVERT CONNUES.....	<a href="#">22</a>
4-2. INVENTAIRE DES CARRIÈRES SOUTERRAINES CONNUES.....	<a href="#">23</a>
4.3 - LES KARSTS GYPSEUX.....	<a href="#">25</a>
<b>5. ETUDE ET RÉPARTITION DES ALÉAS AUX LILAS.....</b>	<b><a href="#">25</a></b>
5.1 EVALUATION DE L'ALÉA POUR LES CARRIÈRES.....	<a href="#">25</a>
5.2. CARACTÉRISATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA POUR LES CARRIÈRES.....	<a href="#">26</a>
5.2.1. <i>Zones de protection et marge de reculement</i> .....	<a href="#">27</a>
5.2.2. <i>Détail des aléas</i> .....	<a href="#">28</a>
Lexique.....	<a href="#">33</a>

## Illustrations

<b>Tableau 1 : Tableau récapitulatif des zones de protection et des marges de reculement</b>	<b><a href="#">28</a></b>
<b>Tableau 2 : Quatre niveaux d'aléas pour les carrières souterraines</b>	<b><a href="#">29</a></b>
<b>Tableau 3 : Trois niveaux d'aléas pour les carrières à ciel ouvert</b>	<b><a href="#">29</a></b>
<b>Figure 1 : extrait du tableau d'assemblage des cartes de carrières de l'IGC</b>	<b><a href="#">7</a></b>
<b>Figure 2 : extrait de carte de carrière (atlas au 1/1000)</b>	<b><a href="#">8</a></b>
<b>Figure 3 : image de la carte géologique au 1/5000 des Lilas</b>	<b><a href="#">10</a></b>
<b>Figure 4 : schéma d'un affaissement général d'une carrière</b>	<b><a href="#">17</a></b>
<b>Figure 5 : Mécanisme d'un fontis</b>	<b><a href="#">18</a></b>
<b>Figure 6 : schéma d'une venue à jour de fontis sur 2 étages de carrières de gypse</b>	<b><a href="#">19</a></b>
<b>Figure 7 : 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.</b>	<b><a href="#">21</a></b>
<b>Figure 8 : coupe géologique interprétative du secteur 2 (rapport de décembre 2005 – d'après l'étude de sol réalisée pour la base de plein air et de loisir de la corniche des forts)</b>	<b><a href="#">24</a></b>
<b>Figure 9 : extrait de carte de carrière (atlas au 1/1000) montrant la mauvaise superposition des piliers entre les 2 masses exploitées</b>	<b><a href="#">24</a></b>
<b>Figure 10 : Schéma zone de protection - Marge de reculement</b>	<b><a href="#">27</a></b>
<b>Photo 1 : Maquette de l'Inspection générale des Carrières montrant une carrière de gypse ludien à ciel ouvert</b>	<b><a href="#">13</a></b>
<b>Photo 2 : Extrait de la maquette de l'Inspection générale des carrières, montrant 2 étapes du mécanisme d'un fontis sur une carrière souterraine de gypse</b>	<b><a href="#">18</a></b>
<b>Photo 3 : maquette d'exploitation à ciel ouvert de Travertin de Brie</b>	<b><a href="#">23</a></b>

## Introduction

L'existence d'anciennes carrières souterraines abandonnées dans le département de la Seine-Saint-Denis et sur la commune des Lilas, 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 des Lilas se soit dotée d'un périmètre de risques liés aux carrières souterraines et à ciel ouvert, non introduit dans le dernier POS (P.L.U.), aucun arrêté préfectoral, valant PPR en phase transitoire, ne définissait officiellement ce périmètre en application de l'ancien article R111-3 du Code de l'Urbanisme.

Par arrêté du 31 mars 2004, 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 des Lilas.

Dans le cadre de l'élaboration de ce PPRMT sur la commune des Lilas, le Préfet de la Seine-Saint-Denis a retenu plusieurs experts pour assister techniquement la direction départementale de l'équipement (DDE) de la Seine-Saint-Denis qui a pour mission d'élaborer et de mettre en application les PPR. Chaque expert traite de sa partie : les carrières sont traitées par l'Inspection générale des carrières (I.G.C.).

L'expertise ainsi confiée à l'I.G.C. porte sur l'identification des aléas carrières souterraines et à ciel ouvert 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 des Lilas. 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 multirisques 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 multirisques, élaboré par la DDE en concertation avec l'I.G.C. et les autres experts missionnés par la DDE, 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 des aléas susceptibles de se produire sur la commune du fait de la présence des carrières à ciel ouvert ou souterraines.

✓ à l'échelle 1/5000 : carte traduisant les différentes zones homogènes en matière de dispositions réglementaires allant de l'interdiction de construire, à la possibilité de construire sous certaines conditions (prescriptions obligatoires ou recommandations).

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 (POS ou 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.



La Mairie des Lilas a participé également à la recherche de documentation.

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

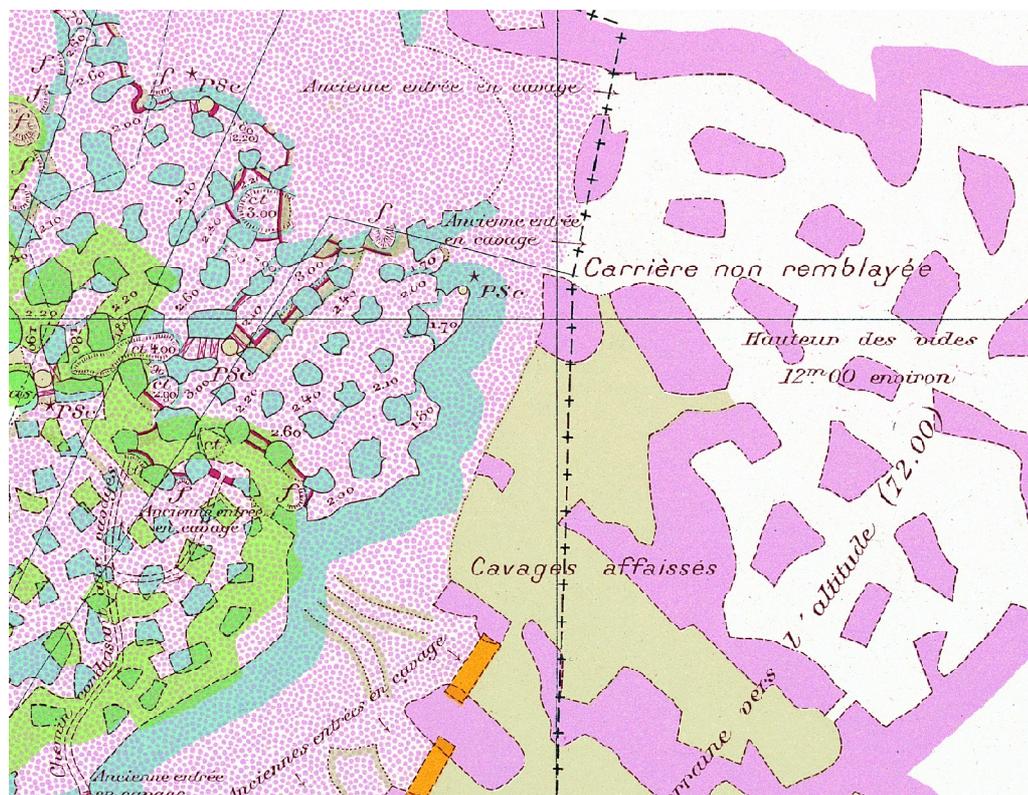


Figure 2 : extrait de carte de carrière (atlas au 1/1000)

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 des Lilas. 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 ne sont pas toujours bien définies.

## 2. Analyse des données

### 2. 1. Géologie des Lilas appliquée aux carrières

La commune des Lilas s'inscrit topographiquement et géologiquement dans une butte-témoin, qui s'étire depuis Belleville (Paris 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> arrondissements) à l'Ouest jusqu'à Vaujours à l'Est, avec une courbure de l'axe tectonique principal. Cette butte-témoin, composée essentiellement de terrains appartenant au Ludien sur ses flancs, est chapeauté par les argiles vertes, voire des glaises qui sont très plastiques et qui ont une tendance à fluer en bordure de versant, les Travertins de Brie et les Sables Fontainebleau.

Aux Lilas, les horizons exploités se situent, pour le gypse, sur le flanc Nord Ouest de la butte-témoin laissée par l'érosion périglaciaire, et, pour les Sables de Fontainebleau, sur le plateau. Les rares exploitations de Glaise Vertes sont le plus souvent associées à celles de gypse. Elles sont petites, très localisées et mal connues.

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 lutéliennes. Ces différents horizons ne se rencontrent pas à l'affleurement aux Lilas car ils sont profonds. Ces formations sous-jacentes au Ludien peuvent contenir des poches de gypse dit « antéludien », le plus souvent contenu 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 Marnes et Caillasses du Lutétien, sur la commune des Lilas.

Le Ludien et le sommet du Marinésien sont relativement homogènes dans les dépôts sédimentaires. Ils se décomposent en quatre assises ou masses de gypse et 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 été reconnue par les carriers qu'en limite de Pantin. 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, inexploitable dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

Les qualités du gypse du Bassin Parisien ont incité les exploitants à extraire le gypse ludien dès qu'il était sain. D'après les sondages existants, la hauteur des exploitations n'excède pas 18 mètres en cumulé sur les 2 étages.



L'exploitation du gypse ludien aux Lilas prolonge les exploitations de la commune de Pantin. 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 dites « de Pantin » qui sont des marnes calcareuses blanchâtres, puis les Marnes dites « 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 les sables de Fontainebleau qui sont le siège de petites exploitations.

Tous ces terrains tertiaires ont été érodés et remaniés durant le Quaternaire pour donner un versant d'une dénivelée inférieure à 40 mètres entre les hauteurs du Fort de Romainville, vers une altitude de 130 m (NGF), et la limite de Pantin à l'Ouest des Lilas, ou la limite de Romainville, à une altitude voisine de 90 m (NGF). La dénivelée continue sur les communes voisines (Pantin et le Pré Saint Gervais ou Romainville pour le Nord).

Sur le versant principal, exposé vers le Sud et l'Est, se rencontrent des formations de pente, constituées par tous les matériaux sus-jacents (sables, travertins et marnes), qui se sont mis en place pendant le début du Quaternaire.

En dehors des gypses ludiens, les formations géologiques susceptibles de renfermer du gypse se rencontrent à des profondeurs importantes.

## **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 aux Lilas :

- Une nappe perchée est contenue par les aquifères sus-jacents aux Argiles vertes, essentiellement dans les Travertins de Brie du Sannoisien et les Sables de Fontainebleau.

La nappe perchée est alimentée par la pluie efficace du plateau et d'éventuelles fuites de réseaux. Cette nappe a dû être à l'origine d'un certain nombre de sources qui existent peut-être encore. Elles doivent rejoindre les autres nappes le long du versant. 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.

- la nappe phréatique, en partie basse des Lilas, se situe dans les Marno calcaires de Saint Ouen et correspond à la nappe générale de cette partie de l'Ile-de-France.

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 Les Lilas, les carrières de gypse se situent essentiellement sur le flanc Nord – Nord Ouest de ce plateau.

## 2. 3. Exploitations des matériaux

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

D'autres couches géologiques, telles les sables de Fontainebleau, ont été extraites à ciel ouvert.

Les marnes Supra gypseuses et les argiles vertes ont également fait l'objet d'extraction à ciel ouvert, le plus souvent associées aux exploitations de gypse à ciel ouvert (marnes à ciment et glaises).

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

L'activité de la majorité des carrières, commencée au 14<sup>ème</sup> siècle, a cessé dans la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, bien que certaines exploitations aient pu être reprises plus tard, ce qui ne semble pas avoir été le cas aux Lilas. Le dernier front de taille répertorié date de 1882.

Les modes d'exploitation se sont succédés et ont varié dans le temps d'un lieu à l'autre, mais les principes généraux 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 quand le matériau affleure directement ou quand le recouvrement le permet (faible profondeur), est l'exploitation à ciel ouvert. C'est la méthode la plus ancienne. La carrière est directement à flanc de coteau.

- Pour les argiles vertes, il n'existe apparemment que ce type de carrière, associée ou non aux exploitations de gypse. Elles sont rares, mal connues, petites et apparemment localisées au-dessus des exploitations de gypse.

Sur le reste de la commune, ces argiles sont à flanc de coteau et en partie recouvertes pas des formations de pente. Elles sont affectées par des mouvements de terrain tels des glissements ou des fluages, et par conséquent ne sont pas exploitables.

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



**Photo 1 : Maquette de l'Inspection générale des Carrières montrant une carrière de gypse ludien à ciel ouvert**

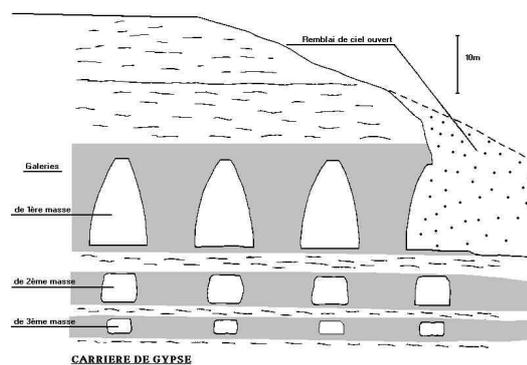
Les sablières ont été exploitées exclusivement à ciel ouvert, hors nappe, sur la commune des Lilas, essentiellement sur les bords Nord et Ouest du plateau stampien.

Les hauteurs d'exploitation étaient très variables. Les vides créés étaient le plus souvent comblés à l'aide de matériaux divers (déblais, terres stériles du recouvrement...), matériaux ayant des qualités mécaniques variables, souvent plus réduites que le matériau d'origine. Cette situation peut provoquer des tassements différentiels dans les fondations de bâtiment. Les épaisseurs de remblais ne sont pas connues et varient entre les différents sites.

Le recouvrement augmentant, les carriers ont extrait le gypse en souterrain sur 2 niveaux aux Lilas. La Haute Masse (ou première Masse) a été exploitée intensément sur des hauteurs pouvant atteindre 13 mètres aux Lilas. La deuxième masse, moins puissante, a été exploitée sur environ 6 mètres de hauteur. La troisième n'a été extraite qu'en bordure de la voie de la Résistance, en limite de Pantin.

Pour mémoire, le Travertin de Brie est un matériau qui a été exploité à Bagnolet, Romainville et Montreuil, communes voisines. Etant donnée la topographie des Lilas et la pente du versant, aucune carrière souterraine de ce type n'a été répertoriée. Toutefois, il est possible que quelques petites exploitations à ciel ouvert aient été ouvertes sur le flanc Nord du plateau.

- méthode dite « des piliers tournés » : exploitation souterraine 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 n°2 : Schéma d'une carrière de gypse avec ciel ouvert : entrée en cavage souterrain, piliers tournés et remblais de ciel ouvert**

- 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. Toutefois, il peut rester quelques galeries oubliées non comblées. Avec le temps les remblais se tassent. Cette méthode n'a pas été utilisée aux Lilas.

- 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 laissaient un étau 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. Aucune exploitation souterraine de Travertin de Brie n'a été enregistrée aux Lilas.

L'examen des plans et des archives a révélé que l'exploitation souterraine du gypse a été conduite exclusivement par la méthode dite des piliers tournés (ou piliers abandonnés), avec un taux de défruitement dépassant les 65%, entraînant de nombreux incidents en surface. Le taux de défruitement 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). Les carrières ont souvent été exploitées sur plusieurs niveaux superposés.

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<sup>e</sup> Masse), large à la base et étroite au sommet. Les piliers peuvent présenter maintenant des signes visibles d'altération tels que l'écaillage, la fragmentation, la fissuration, voire la ruine.

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. Leur épaisseur varie entre 15 et 26 m.

En fin d'exploitation, la carrière était abandonnée le plus souvent sans remblayage, ou avec un remblayage très partiel, laissant subsister des vides résiduels importants. 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.

Certaines parties de ces carrières se sont effondrées. Ce phénomène laisse subsister des vides entre les blocs de roche fracturés et éboulés et ne garantit pas une stabilité absolue de la surface du sol. Les anciennes exploitations de gypse, effondrées ou non, constituent toujours une grave menace pour la stabilité du sol, d'autant que les vides sont inaccessibles et ne peuvent donc pas être surveillés. Les vides arrivés à jour ont souvent été remblayés sommairement avec des matériaux de mauvaise qualité. La surface devient très chahutée.

## 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 aux Lilas et dans la région. Sur la commune des Lilas, 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 les 1ères et 2<sup>ème</sup> Masses de gypse. Les autres masses sont plus profondes que les écoulements d'eau.

### b) Gypse antéludien (Marinésien et Lutétien)

En l'état des connaissances géologiques sur les Lilas, ces niveaux géologiques sont profonds, sous les horizons ludiens et sus-jacents. Il est donc peu probable que les horizons concernés permettent des remontées de fontis ou de décompressions jusqu'à la surface.

Le risque lié à la dissolution des gypses antéludiens n'est donc apparemment pas à craindre sur la commune des Lilas.

## 3. Description 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 de 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 travertins de Brie et de gypse, des sables, des marnes et des argiles, 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. Ces écroulements par contre existent bel et 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, le plus souvent de gypse. Ce sont soit :

- des fontis d'importance et de diamètre variables en fonction des caractéristiques de la carrière (nombre d'étages, superposition 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 des désordres dus aux anciennes carrières souterraines et à ciel ouvert à la surface.

- **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.

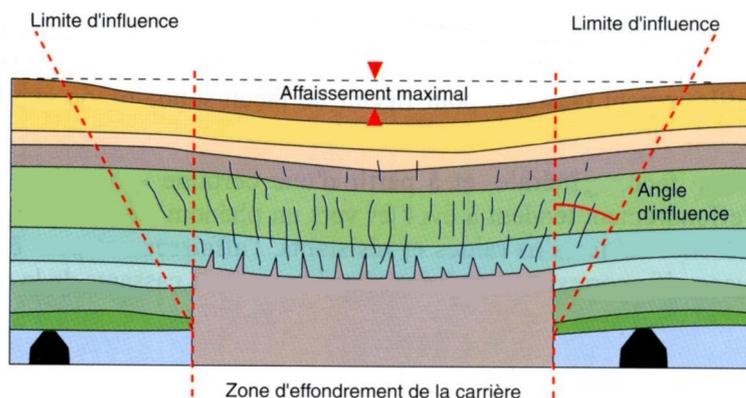
Ils résultent de trois phénomènes de remontée de décompression par :

☛ 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.



**Figure 4 : schéma d'un affaissement général d'une carrière**

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.

Ils peuvent se généraliser à une grande partie de l'exploitation. Mais comme les mouvements 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 phénomène peut localement s'accélérer, en ce cas un affaissement apparaît en surface.

🏠 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, en passant par le blocage des portes et fenêtres.

Ils peuvent également provoquer 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".

Ce risque est présent sur la commune des Lilas 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.

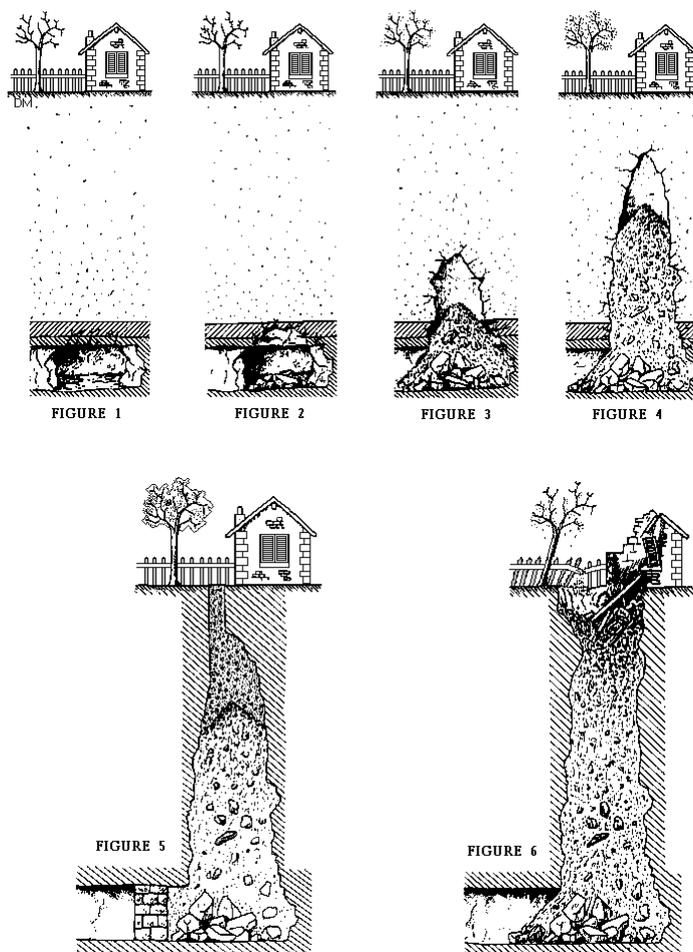


Figure 5 : Mécanisme d'un fontis

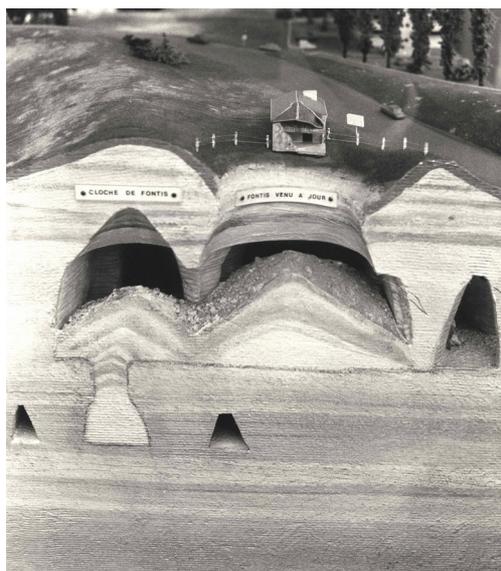
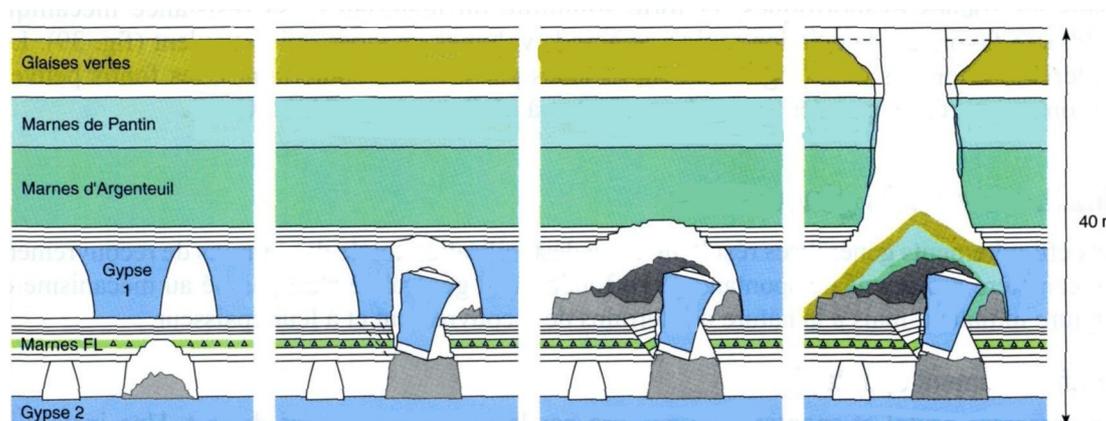


Photo 2 : Extrait de la maquette de l'Inspection générale des carrières, montrant 2 étapes du mécanisme d'un fontis sur une carrière souterraine de gypse

L'épaisseur du banc séparatif entre deux étages peut également être faible. 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 6 : 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 ampleur. Ceci est d'autant plus vrai que les piliers d'un étage à l'autre ne sont pas obligatoirement superposés.

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 par flexion, dans le vide, après l'évènement.

- **Les effondrements généralisés** sont susceptibles d'affecter de façon quasi spontanée une superficie de plusieurs hectares. Ils procèdent d'un mécanisme d'ensemble qui concerne la 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 (enfouissement 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 sur une grande surface, 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 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 gypse assez importantes.

Cependant, les différentes masses de gypse ont été protégées de ce phénomène dans les environs des carrières. Aux Lilas, on peut donc rencontrer dans les 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> Masses de gypse de petits réseaux karstiques, plus particulièrement en base de coteau.

Les phénomènes de dissolution se développent à l'échelle humaine pour le gypse. L'évolution mécanique due à la déstabilisation des terrains, sus-jacents au vide, peut être plus rapide que la dissolution du gypse.

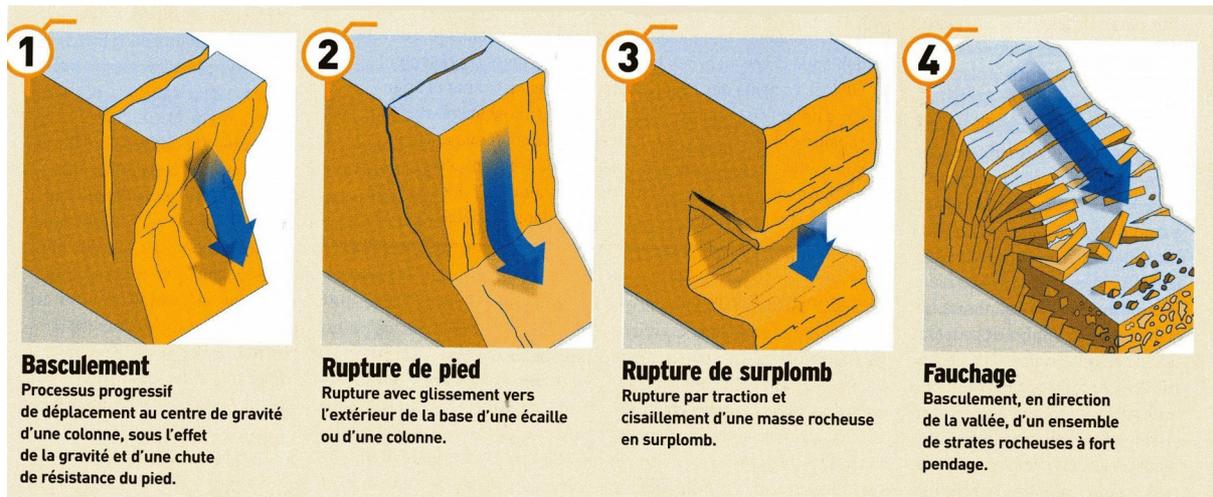
Les zones où des vides ont été créés par dissolution sont soumises aux deux premiers phénomènes : le fontis et l'affaissement en fonction de la résistance mécanique à la traction de l'horizon géologique au-dessus du vide qui se forme.

### 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 déblais 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 7 : 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.**

Ces mouvements de terrain sont traités dans un autre rapport concernant le Plan de Prévention des Multi Risques liés aux mouvements de terrain : phénomènes de glissements de talus, éboulements, solifluxion, instabilités de falaises, ....

### **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 d'exploitations à ciel ouvert 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, sont des facteurs aggravants non négligeables puisqu'elles 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.

## 4. Inventaire des carrières connues au Lilas

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

Les carrières à ciel ouvert sont les carrières les plus nombreuses sur la commune des Lilas. Elles regroupent les carrières de gypse, de sables, de « marnes à ciment », d'argiles vertes et de travertins. Les mieux répertoriées sont celles de gypse.

- Les carrières à ciel ouvert de Sables de Fontainebleau ne sont pas toutes connues. Leur étendue est très probablement supérieure à la zone cartographiée sur la carte des carrières au 1/1000 de l'IGC. Leurs contours ne sont d'ailleurs pas fermés.

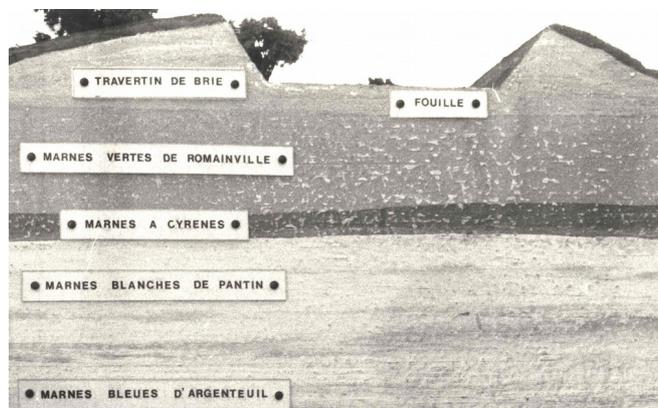
Au Sud du Fort de Romainville et limité à l'Est de la rue Henri Barbusse, on trouve des flots d'exploitations à ciel ouvert de Sables de Fontainebleau, dont l'épaisseur des remblais aussi bien que les limites d'exploitation sont mal connues.

La zone affectée par ces exploitations s'étend vers le Sud Ouest jusqu'à la rue de la République où des carrières à ciel ouvert de sables existent de part et d'autre de la rue du Tapis Vert.

L'extension Est est très mal connue mais une exploitation a été repérée suite à un incident rue Waldeck Rousseau, incitant à étendre la zone d'exploitation potentielle jusqu'à la rue de Paris et la rue des Sablons.

De fait, les carrières à ciel ouvert de Sables de Fontainebleau chapeauteraient le plateau.

- Des exploitations de Travertins de Brie à ciel ouvert ont très probablement existé au Nord de la commune, en limite de la zone du Fort de Romainville et de Romainville. Seule la carte géologique permet d'émettre cette hypothèse, en raison des fortes épaisseurs de remblais à cet endroit.



**Photo 3 : maquette d'exploitation à ciel ouvert de Travertin de Brie**

- Les exploitations de « marnes à ciment » ou marnes supra gypseuses et d'argiles vertes sont associées aux carrières de gypse. Les argiles vertes n'ont été apparemment que très partiellement exploitées. Les versants sans formations de pente sont très pentus et ne permettaient probablement pas une exploitation de ces argiles vertes et marnes.

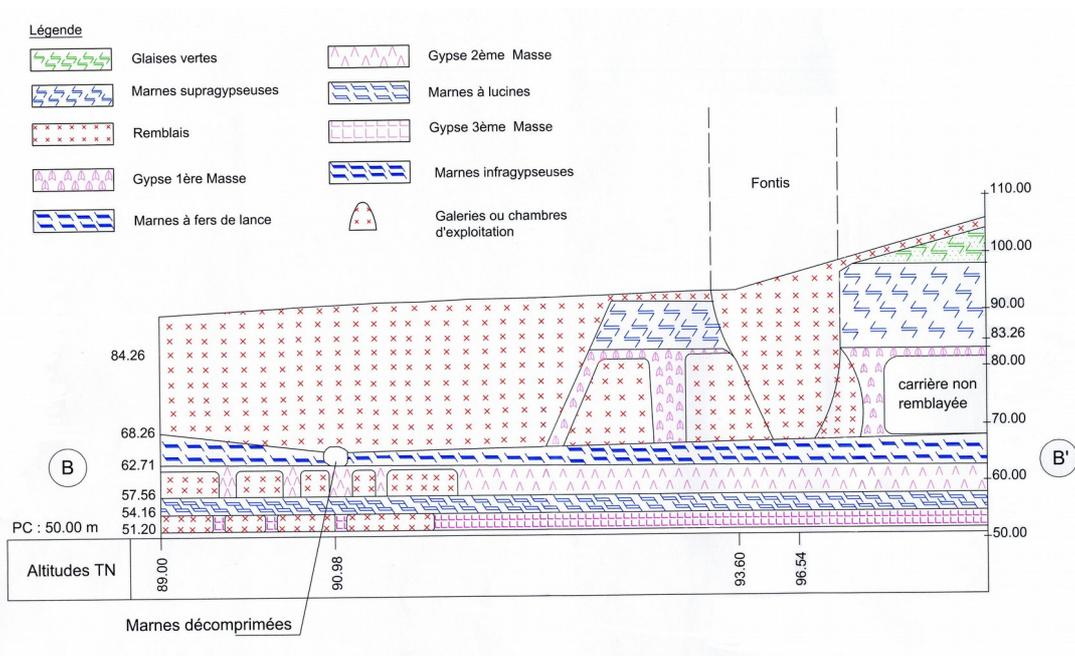
- La limite de la zone Nord de la commune, entourant le Parc municipal des Sports, est située sur une ancienne carrière à ciel ouvert de gypse de 1<sup>ère</sup> masse, remblayée sur une épaisseur de 20 à 30 m.

L'extrémité Nord du cimetière des Lilas est implantée sur une exploitation à ciel ouvert de 1<sup>ère</sup> Masse de gypse dont l'épaisseur des remblais est comprise entre 15 et 20 mètres.

#### **4-2. Inventaire des carrières souterraines connues.**

Les seules exploitations souterraines connues aux Lilas sont des carrières de gypse. Elles sont dans la continuité des carrières souterraines de Pantin sur un à deux niveaux. Aucun accès ne subsiste.

- La zone Sud-Ouest du Parc municipal des Sports, entre la limite de la commune et la rue Paul Langevin, comporte une ancienne carrière souterraine de gypse de 1<sup>ère</sup> Masse, dont seule la partie Sud est remblayée.

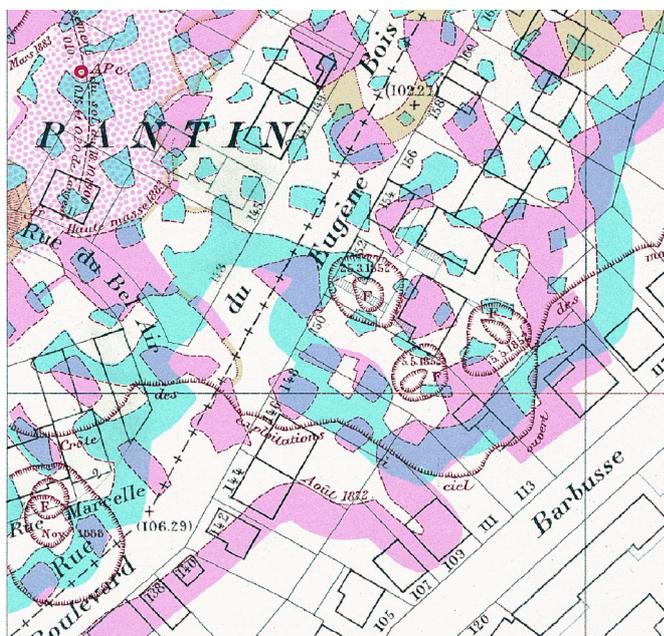


**Figure 8 : coupe géologique interprétative du secteur 2 (rapport de décembre 2005 – d’après l’étude de sol réalisée pour la base de plein air et de loisir de la corniche des forts)**

Cette exploitation couvre une superficie de près de 2 ha, sous une épaisseur de recouvrement de 25 à 30 mètres, pour une hauteur d’exploitation de 12 mètres.

- En limite de la commune de Pantin, une exploitation souterraine de gypse exploitée sur deux niveaux sous-mine les quartiers Ouest de la commune des Lilas.

En allant du Nord vers le Sud, il s’agit d’abord du quartier « des Bassins » entre le boulevard Eugène Decros et la rue Henri Barbusse, puis d’un quartier de forme triangulaire, compris entre le boulevard Eugène Decros, la rue Marcelle et la rue de Bellevue.



**Figure 9 : extrait de carte de carrière (atlas au 1/1000) montrant la mauvaise superposition des piliers entre les 2 masses exploitées**

✖ Le quartier « des Bassins » est sous-miné sur 6000 m<sup>2</sup> par deux niveaux de carrières, présumés non remblayés.

La 1<sup>ère</sup> Masse comporte des galeries de 12,50 m de hauteur, à une moyenne de 24 mètres de profondeur, alors que la 2<sup>ème</sup> Masse est à plus de 40 mètres de profondeur, avec des hauteurs de galeries de 4 m.

Les piliers tournés des deux masses ne se superposent pas et ceux de 2<sup>ème</sup> Masse sont beaucoup plus petits que ceux de 1<sup>ère</sup> Masse. Le taux de défrètement avoisine 65 % en moyenne et localement plus.

✖ Le quartier triangulaire a les mêmes caractéristiques globales que la carrière précédente. Toutefois le taux de défrètement semble plus important et peut atteindre 75 %, d'après les plans fournis par l'exploitant.

- Enfin la zone Nord du cimetière communal des Lilas repose, d'une part, sur une exploitation souterraine de gypse de 1<sup>ère</sup> masse, essentiellement localisée sous l'avenue Faidherbe, d'autre part, sur une exploitation souterraine de gypse de 2<sup>ème</sup> masse située à une profondeur comprise entre 30 et 40 m. Ces carrières sont présumées vides. Les galeries ont des hauteurs respectivement de 12m et de 4 m.

Ces exploitations de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> masses de gypse sont superposées sous l'avenue Faidherbe, qui a fait l'objet de travaux de mise en sécurité du sous-sol par injections.

- Pour mémoire, une exploitation de Haute Masse existe à moins de 50 mètres de la limite entre la commune des Lilas et celle de Paris, au niveau de la Porte des Lilas.

### **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 pas visitables, aucun phénomène de ce type n'a pu être repéré sur place, mais il ne peut être écarté.

## **5. Etude et répartition des aléas aux Lilas**

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 % 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, 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 déterminant.

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

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

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

- la carrière est à faible profondeur ;
- le front de taille est peu protégé par des couches argileuses imperméables ;
- 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 stabilité des ouvrages.

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

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).

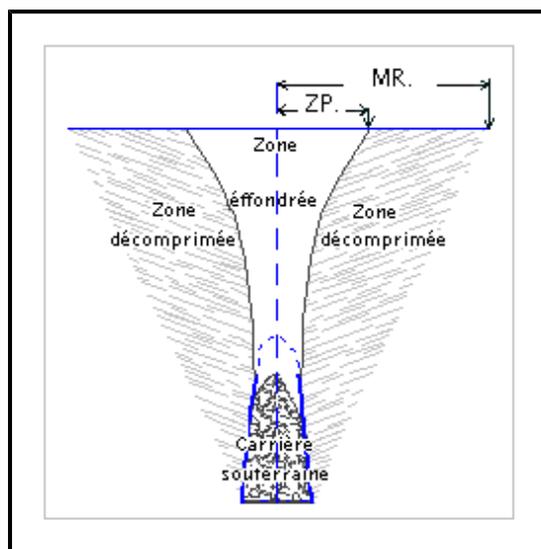


Figure 10 : Schéma zone de protection - Marge de recul

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 et les terrains décomprimés ont été traités par injection sous pression ou que la carrière a fait l'objet de consolidations par piliers maçonnés appuyés directement sur le pied des niveaux d'exploitation.

### 5.2.1. Zones de protection et marge de recul

#### Zone de protection

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 (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 = 8 mètres quand la carrière de gypse de 2<sup>ème</sup> Masse est peu ou pas remblayée ou la carrière de 1<sup>ère</sup> Masse est remblayée ;
- ZP = 16 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

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 = 16 mètres pour les carrières effondrées de 1<sup>ère</sup> Masse, ou uniquement de 2<sup>ème</sup> Masse ;
- MR = 32 mètres dans les autres cas.

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

	0 m	8 m	16 m	32 m
ZP	Carrière consolidée, entrée en cavage	Carrière effondrée ou 2 <sup>ème</sup> Masse uniquement	Tous les autres cas	-
MR	Carrières consolidées et entrées en cavage	-	Carrière effondrée ou 2 <sup>ème</sup> Masse uniquement	Tous les autres cas

#### **5.2.2. Détail des aléas**

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

**Tableau 2 : Quatre niveaux d'aléas pour les carrières souterraines**

cas	Gypse	
	<i>Sous faible recouvrement</i>	<i>Sous fort recouvrement</i>
<b>Fontis repéré non venu à jour</b>	<i>Très fort</i>	<i>Très fort à fort</i>
<b>Galeries vides ou partiellement remblayées d'origine</b>	<i>Très fort</i>	<i>Fort</i>
<b>Galeries « remblayées »</b>	<i>Fort</i>	<i>Modéré</i>
<b>Galeries « remblayées » clavées</b>	<i>Modéré</i>	<i>Faible</i>
<b>Galeries « consolidées »</b>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>
<b>Exploitation souterraine présumée</b>	<i>Fort</i>	<i>Modéré</i>
<b>Puits d'accès non ceinturé</b>	<i>Fort à très fort</i>	<i>Très fort</i>

**Tableau 3 : Trois niveaux d'aléas pour les carrières à ciel ouvert**

Matériaux	Glaises Vertes et Marnes supra gypseuses	Gypse ludien			Sablières ou Travertins de Brie		
		Avérées	Supposées	Traitées	Avérées	Supposées	Traitées
<b>Aléa</b>	Modéré	Fort	Modéré à faible	Modéré à faible	Modéré	Faible	Faible

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 où des cloches de fontis ont été repérées ;
- ✓ Les zones de puits d'accès non ceinturés en carrière dans le cas du gypse sous faible recouvrement ;

- ✓ Les zones de carrières souterraines de gypse non « consolidées », non « remblayées » avec des galeries vides ou partiellement remblayées d'origine, sous faible recouvrement, où le risque de fontis et/ou d'affaissement est par conséquent très grand ;
- ✓ Les zones de protection autour des zones de cloche de fontis repérés ou de fontis venus à jour mais non comblés et les zones de carrières souterraines en mauvais état ou vides ou remblayées partiellement dans le cas du gypse sous faible recouvrement.

Sont classées en **aléa fort** :

- ✓ Les carrières de gypse à ciel ouvert dont les limites sont connues et n'ayant pas 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 ;
- ✓ 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 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 ;
- ✓ Les carrières de marnes Supra gypseuses et de Glaises Vertes à ciel ouvert au-dessus des masses de gypse intactes ;
- ✓ Les carrières à ciel ouvert de Sables de Fontainebleau ou de Travertins de Brie, n'ayant fait l'objet d'aucun traitement particulier, notamment en bordure de terrassement ;
- ✓ Les carrières souterraines pour le 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 carrières souterraines de gypse, non « consolidées », non « remblayées » mais présumées, où le recouvrement est important ;
- ✓ 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 Sables de Fontainebleau ou de Travertins de Brie, à ciel ouvert, ayant subi un traitement particulier, notamment aux limites de terrassement ;
- ✓ Les carrières de Sables de Fontainebleau ou de Travertins de Brie, à ciel ouvert, présumées ou traitées ;
- ✓ 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, sans traitement des terrains de recouvrement ;
- ✓ Les carrières « consolidées » ;
- ✓ Les zones de protection correspondant aux carrières souterraines classées en aléa faible ;
- ✓ 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 des Lilas 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 bas.

**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.

**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, entaille accidentels sur une pierre de taille ou sur les parois d'une carrière.

**Etage 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.

**Foudroiement** : 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.

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

**Front de masse** : limite des exploitations (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 le 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.

**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'aérag** : 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)

**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 la 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.