

INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES

Reçu le 16 DEC. 2000

GAGNY ENVIRONNEMENT
18, rue des Collines
93220 GAGNY



CARRIÈRE DE L'OUEST
(DITE CARRIÈRE "MARTO")
A GAGNY (93)



Mission d'assistance technique à l'Etat
pour la réalisation d'un plan de mise en sécurité du site
relativement aux risques dus à la carrière

6 octobre 1999

RESUME

La carrière de l'ouest, dite carrière "Maréo", a fait l'objet d'une intense exploitation du gypse à la fois à ciel ouvert et en souterrain sur deux niveaux.

Cette carrière abandonnée n'a pas fait l'objet d'un remblaiement, sauf dans quelques secteurs où le remblaiement est partiel.

On observe la présence de nombreux fontis sur le site et l'évolution inéluctable et rapide vers la ruine de certains secteurs de la carrière.

Les désordres auxquels on est confronté sont, soit des affaissements de terrain, soit des fontis dont le diamètre en surface peut atteindre 40 mètres d'après les cartes et les photos aériennes.

En conséquence, il a été réalisé un zonage sommaire délimitant les secteurs où un fontis peut venir à jour et les secteurs où l'on peut craindre des affaissements.

Enfin, il a été réalisé une étude pour définir et chiffrer le coût des travaux de mise en sécurité d'une zone de la carrière en limite de celle-ci avec pour objectif que toutes les habitations et voiries à proximité soient à l'abri des conséquences d'un affaissement ou d'un fontis.

Les méthodes préconisées sont les méthodes classiques de mise en sécurité des grands vides de carrière. Les estimations financières ont été réalisées à partir d'éléments provenant de chantiers analogues récents.

Le montant total de ce comblement d'une partie de la carrière est estimé à 46 millions de francs hors taxes, valeur 1999.

*

* *

SOMMAIRE

A -	CONTEXTE DE L'ETUDE	page 4
1 -	Mission confiée à l'Inspection générale des Carrières	page 4
2 -	Historique	page 4
B -	DESCRIPTION DU SITE ET EVALUATION DES ALEAS	page 6
3 -	Présentation et analyse des données géologiques et hydrogéologiques	page 6
3.1 -	Géologie du site	page 6
3.2 -	Hydrogéologie	page 7
3.3 -	Matériaux exploités et modes d'exploitation	page 7
4 -	Description des désordres et répartition de l'aléa	page 11
4.1 -	Description des désordres	page 11
4.2 -	Méthodologie d'évaluation de l'aléa pour les risques de fontis et d'affaissement ...	page 13
4.3 -	Cartographie de l'aléa	page 13
C -	EVALUATION DES TRAVAUX	page 16
5 -	Travaux de mise en sécurité	page 16
5.1 -	Préambule	page 16
5.2 -	Méthodologie	page 17
5.3 -	Sondages de contrôle	page 20
5.4 -	Travaux en 1ère masse	page 20
5.5 -	Travaux en 2ème masse	page 25
5.6 -	Tableau récapitulatif des travaux à réaliser	page 28
6 -	Estimation financière des travaux	page 28
6.1 -	Comblement mécanique	page 29
6.2 -	Remblais humidifiés	page 29
6.3 -	Injection gravitaire de sablon humidifié	page 29
6.4 -	Injection de clavage ou de traitement	page 29
6.5 -	Puits	page 29
6.6 -	Sondages de reconnaissance et de contrôle	page 29
6.7 -	Tableau récapitulatif du coût des travaux	page 30
7 -	Calendrier prévisionnel	page 30
8 -	Liste des annexes	page 31

A - CONTEXTE DE L'ETUDE

1 - Mission confiée à l'Inspection générale des Carrières

Dans le cadre d'une convention entre la Ville de Paris et la Préfecture de Seine-Saint-Denis, délibérée le 29 septembre 1999 par le Conseil de Paris, l'Inspection générale des Carrières s'est vue confier une mission d'assistance technique pour la réalisation d'un plan de mise en sécurité relatif aux risques dus à la carrière "Marto" à Gagny (93).

A ce titre, l'Inspection générale des Carrières est chargée, à partir de la cartographie existante, de sa connaissance du terrain et des informations en sa possession, de réaliser :

- une description de l'aléa (effondrement, affaissement, fontis, ...) et le zonage des parcelles concernées en fonction de l'intensité des risques ;
- une description des méthodes à employer pour mettre en sécurité le site en définissant les zones à traiter prioritairement, ainsi qu'une estimation sommaire du coût de ces travaux.

Dans les chapitres qui suivent, on rappellera tout d'abord l'historique du site connu de l'Inspection générale des Carrières. Une deuxième partie (B) du rapport sera consacrée à l'analyse des données géologiques et hydrogéologiques et à l'étude des aléas. Une troisième partie (C) sera consacrée à la définition et à l'estimation des travaux de mise en sécurité des propriétés et voiries riveraines de la carrière.

2 - Historique

Afin de mener à bien la consolidation des anciennes carrières de gypse dites "de l'ouest", la mairie de Gagny a sollicité, par lettre du 10 février 1993, l'établissement d'un projet de convention tripartite entre la ville de Paris (Inspection générale des Carrières), la société d'aménagement S.A.T. dirigée par Monsieur MARTO, et la ville de Gagny.

Après un long délai de mise au point, imputable à la difficulté d'obtention de documents officiels identifiant la société S.A.T., et au lancement inopiné, par S.A.T., de travaux de terrassement sans maître d'oeuvre qualifié, ni entreprise qualifiée, ni calendrier d'exécution, la convention a été signée le 14 avril 1995. Les points essentiels de cet accord désignaient la société S.A.T. comme maître d'ouvrage, l'Inspection générale des Carrières comme assistant technique au maître d'ouvrage (participation aux opérations de reconnaissances, avis sur le projet de consolidation, avis sur les dossiers de travaux, examen technique des conditions de réalisation des travaux) et la société SEMOFI comme maître d'oeuvre spécialisé.

Lors des réunions préparatoires, la société SEMOFI a établi, le 16 septembre 1994, un avant-projet sommaire présentant les reconnaissances visuelles effectuées et définissant les types de consolidation de sols à réaliser.

En janvier 1996, l'Inspection générale des Carrières a découvert que des travaux de creusement d'une descenderie en 2ème masse et de comblement de la 1ère masse étaient réalisés à son insu et sans cahier des charges, en violation manifeste des règles de l'art et des clauses de la convention. L'Inspection générale des Carrières ayant prescrit le retrait de tous les matériaux impropres au remblayage mis en place et Monsieur MARTO ayant refusé d'y procéder, l'Inspection générale des Carrières s'est retirée de la convention tripartite le 13 mars 1996.

Les principaux documents relatifs à cette affaire sont cités au paragraphe 3.1 et joints en annexe.

Il convient, en particulier, de relever que, par courrier du 11 septembre 1997 adressé au Maire de Gagny, l'Inspection générale des Carrières a rappelé que la reprise des travaux de consolidation de sols dans la carrière Marto était tributaire des conditions suivantes :

- Définition et conduite des travaux par un maître d'oeuvre qualifié ;
- Exécution des travaux par une entreprise spécialisée en consolidation de carrières ;
- Retrait de tous les matériaux impropres au remblayage de la carrière qui ont été indûment mis en place en 1ère et en 2ème masses malgré les refus répétés de l'I.G.C. : blocs de gypse, produits de démolition, blocs de béton armé, armatures de béton, profilés métalliques, bois, déchets plastiques, etc. ;
- Interdiction de toute circulation d'engins ou de personnes sur le plateau délimité par la Dhuis et la rue Contant, compte tenu des dégradations importantes qui affectent la partie de carrière sous-minant le plateau ;
- Evacuation des merlons et de la colline de gravats, compte tenu des risques d'affaissements engendrés par ces surcharges.

*

* *

B - ANALYSE DU SITE ET EVALUATION DES ALEAS

Introduction

Le recensement des aléas sur la carrière de l'ouest a été réalisé à partir des données disponibles à l'Inspection générale des Carrières : données géologiques obtenues par sondages, plans des anciens carriers et visites sur place qui ont permis de constater les limites des carrières visitables et leur état.

3 - Présentation et analyse des données géologiques et hydrogéologiques

3.1 - Géologie du site

La carrière de l'ouest de Gagny s'inscrit topographiquement et géologiquement dans une butte-témoin qui s'étire depuis Belleville à l'Ouest jusqu'à Gagny et Vaujourns à l'Est. Cette butte-témoin composée essentiellement de terrains appartenant au Ludien est chapeauté par les Travertins de Brie et des argiles vertes voire des glaises qui sont très plastiques et qui ont une tendance à fluer en bordure de versant.

A Gagny - carrière de l'ouest, les horizons exploités se situent sur le flanc sud de la butte témoin laissée par l'érosion périglaciaire.

Cette série ludienne repose sur un ensemble marinésien composé de Marno calcaires (de Saint Ouen) et de sables (de Beauchamp) recouvrant des Marnes et Caillasses lutéiennes.

Tous ces terrains tertiaires ont été érodés et remaniés durant le Quaternaire pour donner un versant d'une dénivelée de 50 mètres entre la commune du Raincy, à une altitude de 125 m, et le chemin des Bourdons, à une altitude de 75 m.

Au niveau de la carrière de l'ouest, les effets de la sédimentologie et de la tectonique sont négligeables.

Le Ludien et le sommet du Marinésien présentent une certaine homogénéité dans les dépôts. Ils se décomposent en deux assises ou masses de gypse et trois couches de marnes à entrefilets gypseux fréquents : les marnes inférieures complexes, la marne intercalaire et les marnes supérieures. Ces horizons ont quelque 35 millions d'années et ont au total une puissance avoisinant 50 mètres.

Les deux horizons de gypse ludien ont été entaillés : la Haute Masse et la Deuxième Masse. 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.

Des marnes supra gypseuses recouvrent le haut du plateau, où se situe la limite avec la commune du Raincy, zone où il n'y a pas eu d'exploitation. Se situent en tête les Marnes dites

“ de Pantin ” qui sont des marnes calcaires 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 et les Travertins de Brie.

Les formations sous-jacentes au Ludien peuvent également contenir des poches de gypse dit "antéludien", le plus souvent contenu dans le Lutétien, qui se dissolvent lors des circulations d'eau et les mouvements des nappes souterraines. Les formations géologiques pouvant renfermer du gypse peuvent se rencontrer jusqu'à 60 mètres de profondeur au sud de la carrière de l'ouest de Gagny.

Toutefois, dans l'état actuel des connaissances géologiques, les Marnes et Caillasses du Lutétien n'ont pas montré ce genre d'éléments en leur sein bien que leur épaisseur dépasse les 15 mètres, épaisseur limite de leur apparition.

3.2 - Hydrogéologie

Il existe à Gagny autour de la carrière de l'ouest deux nappes principales :

- 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, sous la carrière;
- une nappe perchée contenue par les aquifères sus-jacents aux Argiles vertes, essentiellement dans les Travertins de Brie.

La nappe perchée est alimentée par la pluie efficace du plateau. A l'origine l'eau s'écoulait sur les bordures du plateau par l'intermédiaire de sources pouvant donner naissance à des thalwegs. Ces sources ayant disparu, ces eaux se perdent dans les formations de pente, les fractures, les talus et les remblais de carrières à ciel ouvert quand ils existent. Elles doivent rejoindre la nappe phréatique en pied de butte au sud de la carrière de l'ouest.

Ces eaux des terrains de recouvrement se perdent parfois dans les carrières en raison des nombreux fontis atteignant la surface. 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 des niveaux de carrière partiellement ennoyés dans les zones les plus basses, quelle que soit la Masse considérée.

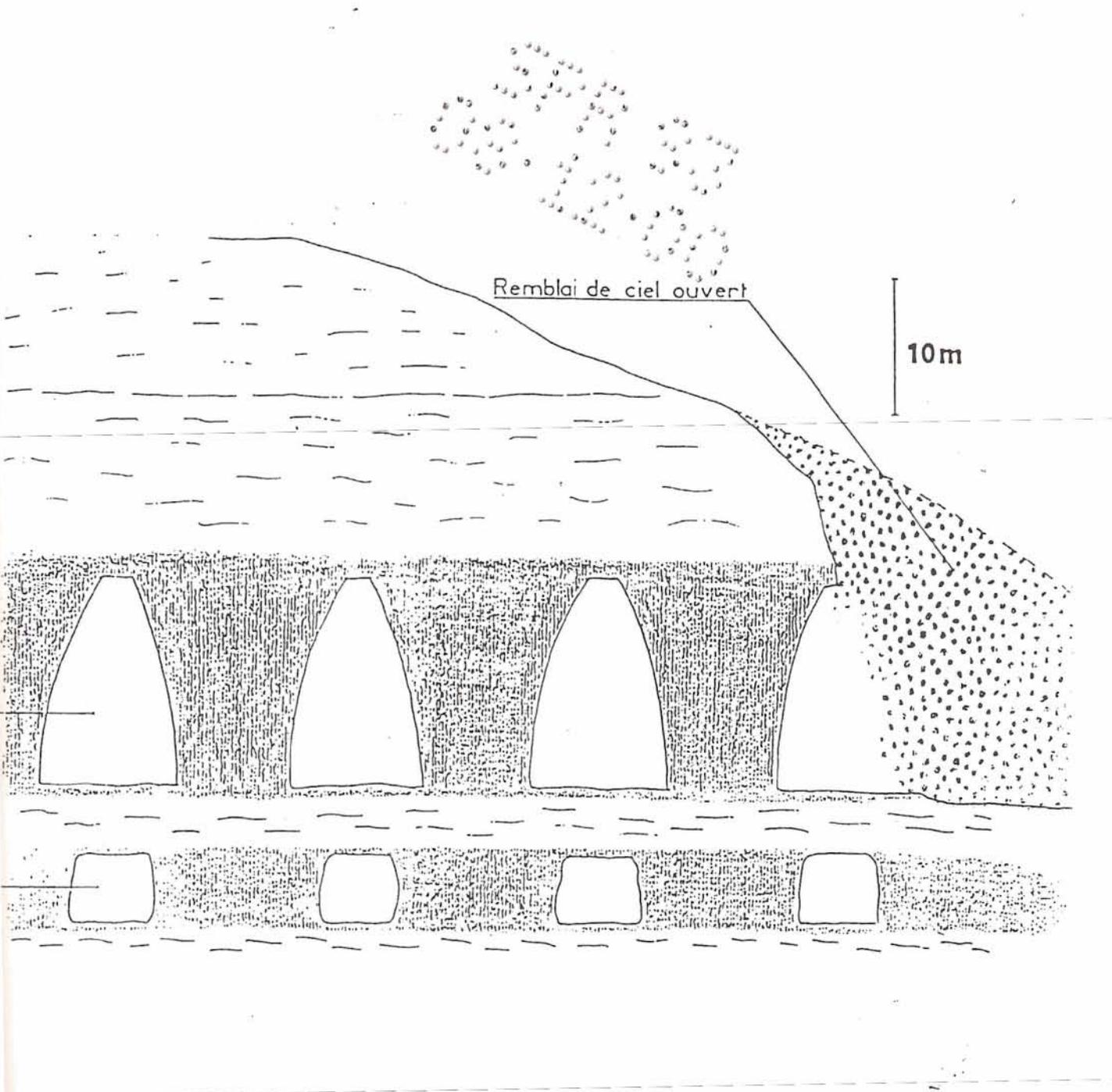
3.3 - Matériaux exploités et modes d'exploitation

3.3.1 - Méthode d'exploitation

Les cavités susceptibles d'entraîner des désordres en surface sur le territoire de la carrière de l'ouest à Gagny concernent le gypse, qu'il s'agisse de cavités anthropiques ou naturelles.

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

figure n°1 : schéma carrière de gypse avec ciel ouvert entrée en cavage souterrain, piliers tournés et remblais de ciel ouvert



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

Les hauteurs d'exploitation étaient très variables. Les vides créés ont été le plus souvent comblés à l'aide de matériaux divers (déblais, terres stériles du recouvrement... mais aussi avec des gravats, bois, briques et même des ordures ménagères), matériaux ayant des qualités mécaniques variables et souvent très réduites. Il semble que dans le cas qui nous intéresse, la carrière à ciel ouvert de Première Masse n'ait été que très partiellement remblayée.

Le recouvrement augmentant, les carriers ont extrait en souterrain le gypse sur 2 niveaux. La Haute Masse a été exploitée le plus intensément et sur des hauteurs pouvant atteindre 17 mètres dans la carrière de l'ouest à Gagny. La masse suivante, moins puissante, a été également exploitée sur une hauteur d'environ 6 mètres. Aucune trace d'exploitation n'est connue pour la troisième masse.

L'examen des plans et des archives a révélé que l'exploitation a été conduite exclusivement par la méthode dite des piliers tournés (ou piliers abandonnés), avec un taux de défrètement pouvant atteindre 75 % d'après les archives. Le taux de défrètement est le plus souvent de 65%. 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). La méthode des piliers tournés consiste à exploiter le matériau en laissant en place des étaux de masse qui constituent ainsi des piliers naturels.

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), large à la base et étroite au sommet ou trapézoïdale moins large (2ème Masse). Les piliers présentent maintenant des signes visibles d'altération tels que l'écaillage, la fragmentation, la fissuration, voire la ruine, plus particulièrement dans les zones où les galeries n'ont pas été remblayées et où le recouvrement est important, voire rehaussé donc surchargé.

L'épaisseur du banc séparatif 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 mur (sol de la carrière) par les piliers serait à craindre quand le banc de gypse en base est trop mince.

Les terrains naturels situés au-dessus des masses exploitées sont de nature marneuse à argileuse et leur épaisseur varie entre 14 m et 35 m, sans compter les apports récents. Rappelons que le recouvrement intervient dans le processus de dégradation par les contraintes verticales qu'il induit dans le toit et les piliers, en accélérant 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.

En fin d'exploitation, la carrière était abandonnée le plus souvent sans remblayage. Probablement afin d'éviter les accidents graves liés à la présence de ces vides souterrains importants, certaines parties de ces carrières (2ème Masse et un peu de Haute Masse) ont été partiellement remblayées ultérieurement, sans toujours respecter les règles de l'art.

Les anciennes exploitations de gypse, partiellement remblayées sans respecter les règles de l'art, constituent toujours une grave menace pour la stabilité du sol, d'autant que les vides sont la plupart du temps inaccessibles.

3.3.2 - La carrière à ciel ouvert connue

La carrière à ciel ouvert de première masse de gypse a entaillé la partie nord ouest à partir de l'ancienne plâtrière. Elle correspond à la plus grande partie du terrain qui formait une cuvette avant les modifications récentes de la topographie du site.

Schématiquement, elle entaille le coteau sur 1,6 ha. environ et s'arrête aux entrées en cavage. Les remblais étaient apparemment peu épais et déposés vers le sud en pente douce pour rejoindre le chemin des Bourdons, vers l'usine à plâtres. Vers l'ouest, l'exploitation à ciel ouvert s'arrête sur une petite " falaise " et elle n'a pas été poursuivie en souterrain.

3.3.3 - Inventaire des carrières souterraines connues

Quand le recouvrement est devenu trop grand, l'exploitation à ciel ouvert a été poursuivie en souterrain. C'est le cas de la Haute Masse au nord et à l'Est.

Elle a été exploitée sur environ 10 ha. La carrière souterraine s'étend principalement de l'allée de l'Aqueduc et l'allée de la Dhuis vers le sud à la limite des immeubles des Grands Coteaux et vers l'ouest jusqu'à l'avenue Maurice Prolongée, à l'exception de la rue de la Montagne Savart.

Elle n'est que partiellement remblayée. Dans la partie encore visitable, la hauteur des vides résiduels varie de 1,5 m à 17 m. Elle est en mauvais état et de nombreux fontis existent dans la partie la plus au nord où le remblaiement est nul, vers la limite du Raincy.

La Deuxième Masse de gypse sous-mine la Haute Masse à ciel ouvert dans la partie sud du site vers le chemin des Bourdons et se poursuit sous une partie de la carrière souterraine de Haute Masse. L'exploitation de cette Deuxième Masse se scinde en deux parties :

✓ la plus importante fait environ 6,32 ha. sur une hauteur résiduelle après exploitation de 2 à 5,6 m et a été remblayée par son propriétaire actuel qui a fait une descenderie à cette occasion. L'Inspection générale des Carrières ne peut confirmer l'exactitude de ces travaux ni la qualité des remblais utilisés.

✓ la seconde fait environ 0,7 ha et est présumée totalement effondrée, entraînant l'effondrement de la Haute Masse avec elle. D'anciennes photographies aériennes montrent des cratères dans cette zone qui depuis ont été remblayés. Nous ne disposons d'aucun élément concernant le comblement des fontis venus à jour.

4 - Description des désordres et répartition de l'aléa

2.1 - Description des désordres

Les désordres de mouvements de terrain liés aux exploitations souterraines et à ciel ouvert sont les suivantes :

• **Les affaissements** sont des désordres ponctuels visibles en surface et se présentant sous forme de cuvettes consécutifs au tassement des couches superficielles. Ils se forment également par rupture successive des différents horizons formant le recouvrement du vide initiateur. Ils résultent de deux types de phénomènes :

- un fontis d'origine profonde, ou dans une zone partiellement comblée, qui s'est auto colmaté mais qui a décomprimé tous les terrains sus-jacents.
- le tassement des remblais d'une carrière à ciel ouvert.

Son importance varie entre la simple "flache" de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres. L'affaissement est peu profond et ne présente pas un danger immédiat de rupture brutale. Par contre son influence n'est pas négligeable sur le bâti.

• **les fontis** sont des effondrements locaux 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 en toit. Le processus se développe alors verticalement et provoque la formation d'une "cloche de fontis" remontant vers la surface.

Ce risque est présent sur l'ensemble de la carrière de l'ouest.

• **les effondrements généralisés** se caractérisent par la rupture des piliers de la carrière souterraine sur une grande surface et l'effondrement brutal des terrains sus-jacents.

Ils sont peu probables étant donné les caractéristiques des carrières de gypse de Gagny. L'effondrement présumé de la Deuxième Masse ressemble davantage à la venue à jour de plusieurs fontis à partir d'une même galerie et non à un effondrement généralisé.

• les zones de dissolution

Ce phénomène se rencontre essentiellement dans les Marnes et Caillasses lorsqu'elles contiennent du gypse. Le gypse étant soluble dans l'eau, la dissolution de poches de gypses antéludiens peut créer des vides dans les horizons concernés.

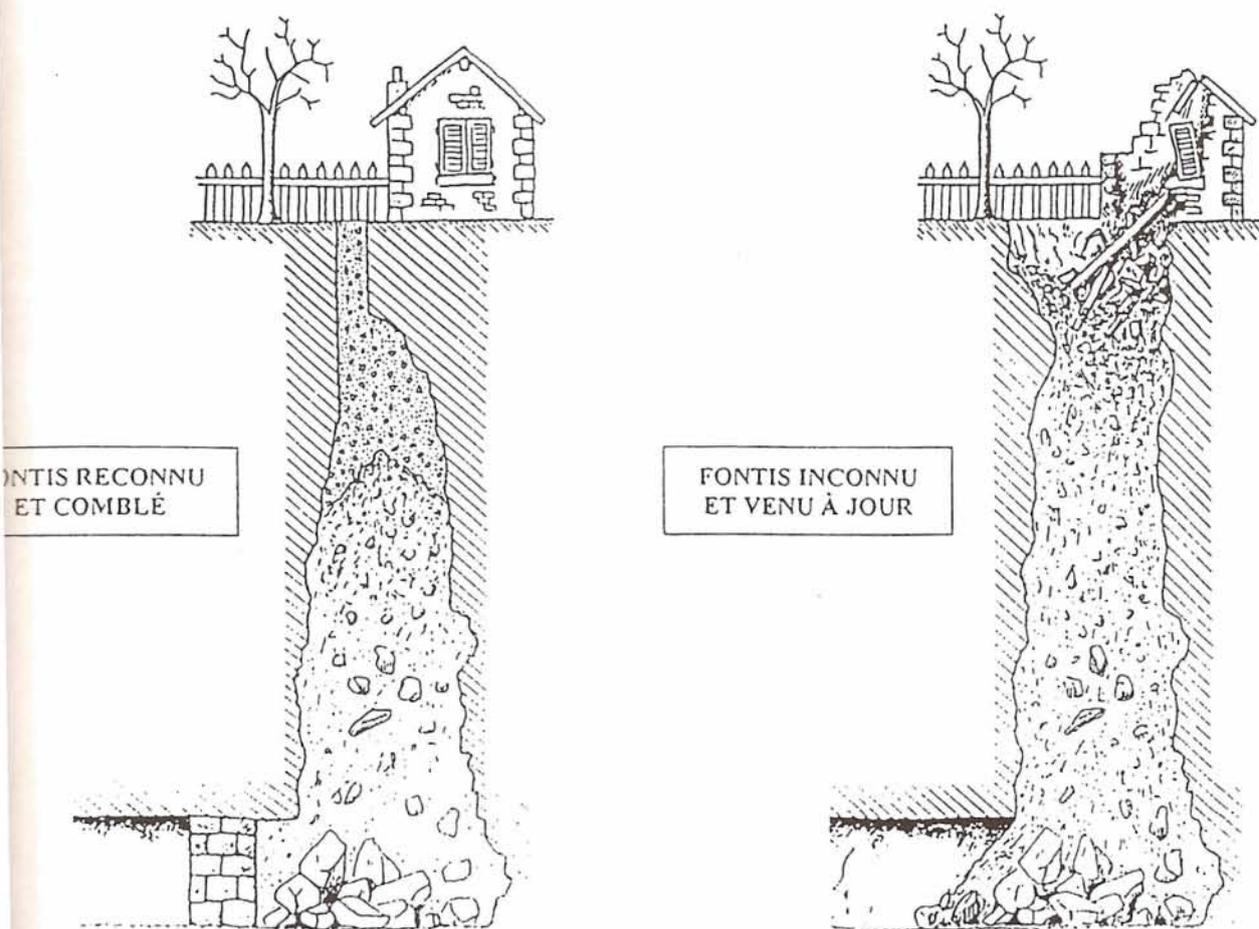
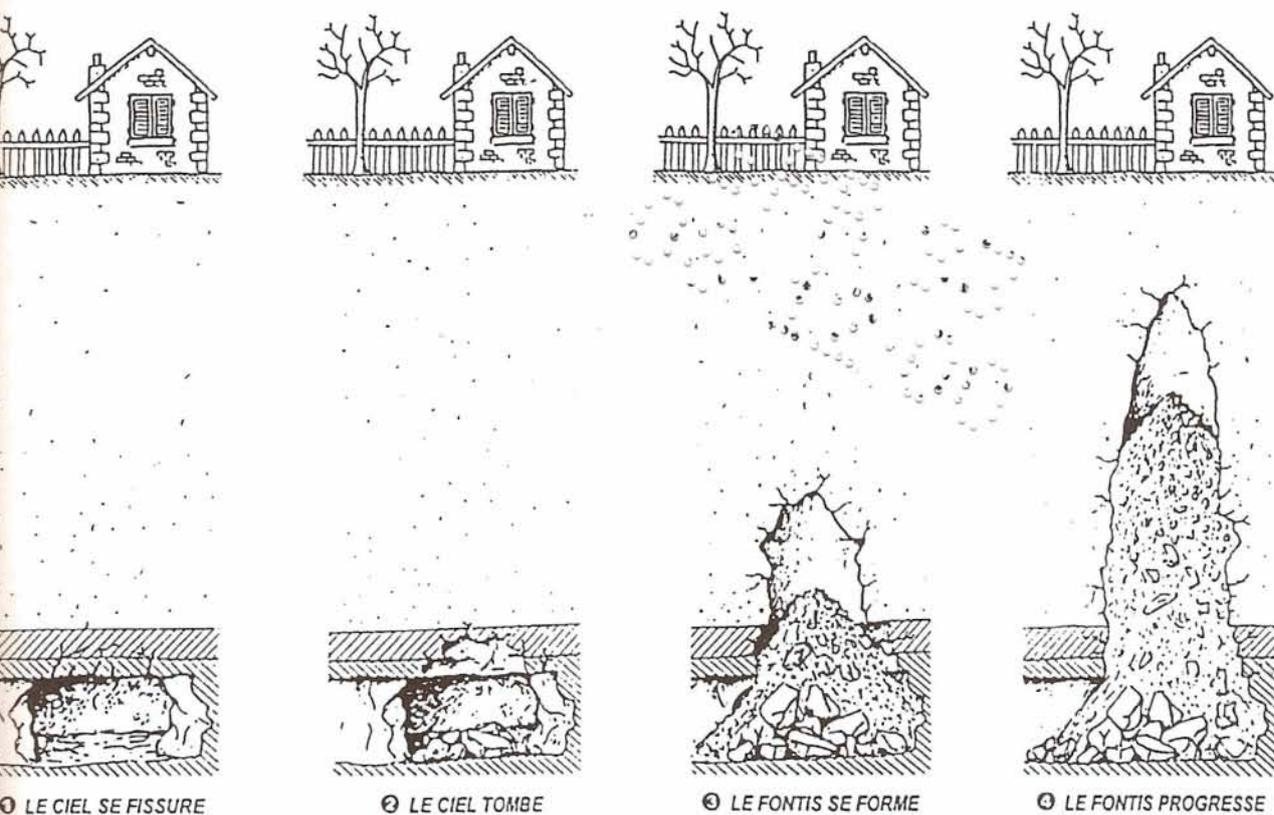
Pour les zones où des vides ont été créés par dissolution, on retrouve les deux premiers phénomènes : le fontis et l'affaissement en fonction de la résistance mécanique à la traction de l'horizon géologique au-dessus du vide qui se forme.

Pour ce qui concerne la carrière de l'ouest, en l'état des connaissances, aucune poche de gypse n'a été repérée dans les Marnes et Caillasses

• les falaises et les glissements de terrain

Les risques significatifs de mouvements de sol sont liés à l'existence soit de talus au-dessus des fronts de taille, soit des mises en dépôt anarchiques de stériles.

Figure n°2 : le mécanisme d'un fontis



Les deux cas de figures rencontrés sont :

1. Zone du talus vers les Grands Coteaux

Il s'agit d'un site où les glissements de terrain sont récurrents en raison de la pente du talus dans les Marnes supra-gypseuses et de la surcharge de terres et autres matériaux en tête du talus.

2. Les fronts de taille de la Haute Masse de la carrière de l'ouest

La falaise verticale de gypse de Haute-Masse. Elle est surmontée par un talus constitué par les Marnes supra gypseuses généralement peu stables.

Le risque consiste en des chutes de blocs lorsque l'on se trouve en-dessous et à proximité de la falaise.

Concernant ces deux points, sortant du domaine de compétence de l'Inspection générale des Carrières, il y a lieu d'affiner l'étude et, le cas échéant, de prendre les mesures qui s'imposent.

En conclusion seuls les risques "fontis" et "affaissements" sont retenus pour l'évaluation de l'aléa dans cette étude.

4.2 - Méthodologie d'évaluation de l'aléa pour les risques "fontis" et "affaissement"

Sur les bases énoncées ci-dessus, 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.

En ce qui concerne le voisinage immédiat de la carrière de l'Ouest, sont à prendre en compte les effets d'un fontis et les glissements de terrain.

Les glissements de terrain affectent essentiellement les "Grands Coteaux" et sont principalement dus aux dépôts de stériles derrière un merlon plus ou moins stabilisé.

Les fontis ont pour origine la rupture du ciel de carrière et peuvent atteindre 40 mètres de diamètre d'après les cartes de carrière et les photos aériennes, au-dessus de la 1ère masse. Des zones d'affaissement peuvent dépasser 50 mètres de diamètre.

Lorsque la deuxième Masse de gypse est la seule exploitée, le diamètre des fontis est estimé à environ 15 mètres.

Lorsqu'un fontis arrive à la surface l'effondrement est plus ou moins circulaire avec la forme d'un cylindre. Puis très rapidement ses bords s'épurent en formant un cône dont les caractéristiques dépendent notamment de la hauteur et la nature du recouvrement, la présence d'eau. Au-delà, les terrains sont très fortement décomprimés et peuvent dans le temps s'effondrer également. Ces décompressions s'accompagnent de tassements et de fissurations des bâtiments.

4.3 - Cartographie de l'aléa

Risque fontis

La définition des zones est basée sur :

- l'enveloppe générale de la carrière
- la zone de protection
- la marge de reculement.

↳ L'enveloppe générale des carrières est construite à partir du contour simplifié des différentes exploitations de la carrière connue.

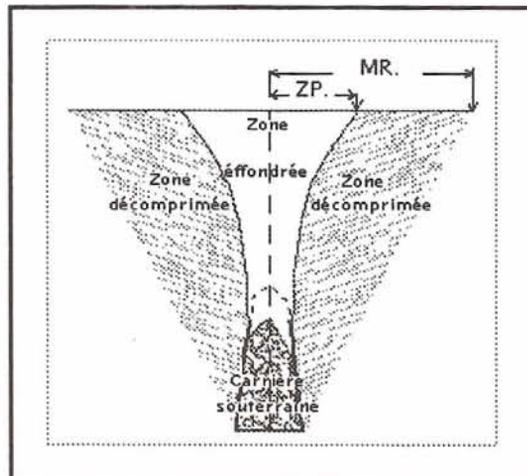
↳ La zone de protection correspond à la bande de terrain, bordant les emprises sous minées, susceptible de s'effondrer durant, ou relativement peu de temps après la survenance d'un fontis (éruption rapide).

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

La largeur de cette zone a été évaluée d'après les observations de terrain et de photos aériennes et est fixée à 20 mètres pour les zones où la Première Masse et la Deuxième Masse ont été exploitées l'une sur l'autre. La largeur de la zone de protection est également prise égale à 20 mètres lorsque la Première Masse est exploitée seule et qu'elle n'est pas remblayée ou qu'elle est partiellement remblayée avec des remblais impropres à cet usage.

Lorsque la Première Masse est partiellement remblayée, cette zone est ramenée à 10 mètres.

Concernant la 2ème Masse, l'absence de données sur l'état de remblaiement conduit à retenir une zone de protection de 10 mètres.



↳ La marge de reculement représente la zone d'influence d'un fontis (zone décompressée et à éruption très lente).

La largeur de cette bande de terrain exposée aux effets latéraux des effondrements est fixée forfaitairement à 40 mètres dans les cas où la zone de protection fait 20 mètres de large.

Sur la déclivité du plateau côté des Grands Coteaux, la largeur de la marge de reculement a été fixée à 30 mètres en raison de la topographie et de la diminution de la largeur de la zone de protection.

Au niveau de la carrière de Deuxième Masse elle est de 20 à 30 mètres de large en fonction du site.

Au delà de cette zone aucun désordre n'est à craindre pour les aménagements de surface.

Risque affaissement

Enfin, concernant l'exploitation à ciel ouvert de Première Masse sans carrière souterraine connue de Deuxième Masse, les risques de tassement de remblais sont délimités par l'emprise de la carrière à ciel ouvert.



C - EVALUATION DES TRAVAUX

5.1 - Préambule

Ce chapitre a pour but de définir les grandes lignes des méthodes à retenir pour les travaux nécessaires à la mise en sécurité des propriétés et voiries riveraines de la carrière, situées dans la zone de protection et dans la marge de reculement définies au paragraphe 4.3.

Il s'appuie sur plusieurs documents d'étude et courriers en possession de l'Inspection générale des Carrières, qui sont joints en annexe :

- rapport SEMOFI du 16 septembre 1994 (carrières de la Montagne Savart - Société S.A.T. - Avant-projet sommaire),
- compte-rendu "Mairie de Gagny" de la réunion du 28 janvier 1995,
- lettre IGC au maire de Gagny du 2 février 1995 (réf. HPS 95-33),
- lettre IGC à M. MARTO du 25 janvier 1996 (réf. DET/DP/96-21),
- compte-rendu IGC de la réunion technique du 1er février 1996,
- lettre IGC au maire de Gagny du 13 mars 1996 (réf. DET/DP/96-57),
- lettre IGC au maire de Gagny du 11 septembre 1997 (réf. DET/DL/97-WEST1),
- lettre IGC au maire de Gagny du 7 juillet 1998 (réf. AML/98-176),
- lettre IGC au maire de Gagny du 25 janvier 1999 (réf. AML/99-14).

Ce chapitre s'appuie également sur les cartes de carrières n° 48-34, n° 48-35, n° 49-34, n° 49-35 et n° 50-34, et sur les constatations faites par les agents de l'Inspection générale des Carrières lors de la dernière visite sur place le 18 juin 1998 (altitude des sols de carrière et des hauteurs d'exploitation, pour les zones accessibles).

La présente étude ne prend pas en compte la délimitation de parcelles privées en surface, ni la topographie des lieux fortement modifiée en surface, ni l'évaluation des travaux de remise en état préalable du site tels qu'ils ont été préconisés par l'Inspection générale des Carrières dans son courrier du 11 septembre 1997 (Retrait de tous les matériaux impropres au remblayage de la carrière qui ont été indûment mis en place en 1ère et en 2ème masses, évacuation des merlons et de la colline de gravats, compte tenu des risques d'affaissements engendrés par ces surcharges).

5.2 - Méthodologie

Quelle que soit la destination des terrains en surface, la mise en sécurité du site implique le comblement total des vides souterrains.

En fonction d'aménagements ultérieurs en surface, un traitement complémentaire des terrains de recouvrement décomprimés peut s'avérer nécessaire (injections sous pression par des forages équipés de tubes à manchettes).

Les comblements doivent être réalisés en commençant par les niveaux de carrière les plus profonds (d'abord la 2ème masse de gypse, puis la 1ère masse).

En fonction des conditions d'accessibilité du site aux engins et aux personnes, les techniques pouvant être utilisées sont les suivantes :

- mise en place de remblais appropriés poussés directement à l'intérieur des galeries, à l'aide d'engins de terrassement,
- déversement gravitaire de remblais humidifiés à l'aide de forages de gros diamètre (\emptyset 800 mm),
- injection gravitaire de sablon humidifié ou de cendres volantes humidifiées, à l'aide de forages de diamètre moyen (\emptyset 150 mm),
- clavage des vides résiduels par forages de diamètre moyen (\emptyset 150 mm) et par injection sous pression d'un coulis de ciment-bentonite.

Pour ce qui concerne les forages d'injection, les maillages usuellement pris en compte sont de 5 m pour les zones à claver, 7 m pour les voies et allées, 10 m pour les espaces verts et 25 m pour les remblais humidifiés.

5.2.1 - Remblaiement mécanique

Le remblaiement par des engins de terrassement, lorsqu'il est possible, permet un comblement très économique de la carrière. Pour que cette méthode puisse être mise en oeuvre, il faut que les galeries soient de bonnes dimensions et facilement accessibles. Les matériaux utilisés peuvent être soit déversés par des puits de grand diamètre, soit approvisionnés par des camions à partir d'entrées en cavage, puis poussés mécaniquement à l'aide de bulldozer. Ce type de comblement laisse un vide résiduel qu'il convient de combler après tassement des remblais par une injection sous pression (clavage).

Les critères de qualité des remblais acceptables sont les suivants :

Les matériaux doivent avoir exclusivement pour origine des déblais de chantier de terrassement, constitués de sols non pollués et non polluants, sans terre végétale ni matière organique, et dont les plus gros constituants ne doivent pas être de dimensions supérieures à 200 mm. Un tri rigoureux à l'amont est donc nécessaire.

D'une manière générale, les carrières ne doivent accueillir que des matériaux minéraux inertes. Sont exclus tous les produits susceptibles de migrer et de polluer par lixiviation, ou pouvant induire des risques :

- pour la santé des personnes intervenant sur le site, par inhalation ou par contact,
- pour les constructions,
- pour les plantations.

Sont expressément exclus tous matériaux correspondant à une mise en dépôt dans les décharges de classe II (ordures ménagères et assimilées) ou dans les centres de stockage de déchets ultimes (classe I) :

- ordures ménagères,
- déchets encombrants issus de ménages,
- déchets industriels et commerciaux banals.

Sont également exclus les matériaux putrescibles (bois, papier, cartons, déchets verts, etc.) ou à base de gypse ou de plâtre, les matières plastiques, les métaux, ainsi que les mâchefers et cendres d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Les cendres de centrale thermique fonctionnant au charbon peuvent être acceptées.

Il est indispensable de prendre certaines dispositions afin de vérifier que les déblais extérieurs ne contiennent pas de déchets interdits : ainsi, les matériaux ne doivent pas être bennés directement en fond de carrière ; avant enfouissement, les déblais doivent subir un examen visuel et un triage qui permettent de déceler des éléments indésirables (bidons, fûts, ferrailles, etc.) ; une benne pour la récupération est donc à prévoir.

5.2.2 - Comblement par remblais humidifiés

Dans le cas où la carrière est d'un gabarit ou dans un état ne permettant pas la circulation d'engins de chantier, il est possible d'utiliser la technique des remblais humidifiés.

Le remplissage des galeries s'effectue par déversement d'un mélange de remblais et d'eau, à partir de forages de gros diamètre (de 800 mm à 1 m), équipés en tubes fer (Ø 600 à 800 mm).

Lorsque deux étages de carrière sont superposés (1ère et 2ème masses), les tubes seront largement crépinés au droit de la 1ère masse et seront descendus jusqu'au toit de la 2ème masse, afin que le forage puisse servir au comblement des deux étages.

Le maillage des forages qui est pris en compte pour le site étudié est de 25 m x 25 m.

Les matériaux de remblais acceptables sont identiques à ceux du remblaiement mécaniques. Il faut éviter, en outre, les éléments trop argileux qui risquent de colmater les forages.

Ce type de remblaiement nécessite des volumes d'eau très importants (en pratique, équivalents aux volumes de matériaux mis en oeuvre).

Pour fournir la quantité d'eau nécessaire, il est généralement nécessaire de réaliser un forage profond pour pompage dans la nappe (Lutétien à une profondeur de 80 m environ). Il faut s'assurer au préalable qu'un tel puits peut débiter 40 m³/h en continu (1 000 m³/jour).

De même que pour le remblaiement mécanique, un clavage des vides résiduels s'avère nécessaire. Celui-ci n'interviendra qu'après une période de consolidation par essorage des remblais humidifiés de 2 mois minimum.



5.2.3 - Injection gravitaire

Dans le cas où le site à combler ne permet pas l'emploi des techniques de remblaiement mécanique ou de remblais humidifiés, il est alors nécessaire de procéder à des injections gravitaires de matériaux fins par la biais de forages de moyen diamètre (150 à 200 mm), équipés de tubes lisses ou crépinés, avec un maillage 10 m x 10 m.

L'injection la moins coûteuse est l'injection de sablon par voie humide (sans adjonction de ciment). Le sablon peut être remplacé par des cendres volantes de centrale thermique, chargées en ciment.

Sous les bâtiments ou les voies publiques, le sablon est chargé en ciment avec un dosage de l'ordre de 100 à 150 kg/m³.

Comme pour les autres modes de comblement, il s'avère nécessaire d'effectuer un clavage des vides résiduels après tassement des matériaux de remplissage.

5.2.4 - Clavage des vides résiduels

Toutes les méthodes de remblaiement laissent des vides résiduels entre le toit de la carrière et le sommet des remblais mis en place. Ces vides sont plus ou moins importants, selon la méthode de comblement et le suivi de celui-ci. Il faut compter en principe sur un tassement de l'ordre de 10 %, ce qui, sur une galerie de 1ère masse, laisserait à terme - en supposant que le comblement ait été fait au maximum - un vide de l'ordre de 1,50 m. Sur une galerie de 2ème masse, le vide résiduel serait de l'ordre de 60 cm.

Le clavage est réalisé à l'aide d'un coulis à base de ciment et de bentonite (ou de ciment-cendres volantes), injecté sous pression par des forages équipés de tubes crépinés. Le maillage des forages est de 5 m x 5 m. Le dosage en ciment est de l'ordre de 200 kg/m³.

5.2.5 - Limitation des zones à combler

Afin d'éviter toute dispersion du coulis en dehors des emprises à combler, il sera nécessaire de dresser des barrages, soit en maçonnerie de parpaings (dans les zones accessibles), soit par intervention depuis la surface (injection de sablon sec, et de coulis à prise accélérée).

5.2.6 - Reconnaissance de sols préalable

Dans certaines zones inaccessibles ou dans lesquelles le contour de la carrière est mal connu, une reconnaissance des sols par sondages destructifs enregistrés de 100 à 150 mm de diamètre sera nécessaire afin d'évaluer la hauteur des vides résiduels et des décompressions dans les

terrains de recouvrement. Les sondages ayant décelé une hauteur de vide supérieure à 50 cm seront tubés en vue d'un examen par caméra. Ils seront ensuite utilisés pour leur injection. Le maillage pris en considération est de 30 m x 30 m (soit 1 sondage pour 900 m² de terrain), avec un minimum de 3 sondages par zone à reconnaître.

Les reconnaissances de sols en 1ère et 2ème masses seront à mener indépendamment l'une de l'autre. Pour les linéaires de sondages, les cotes de terrain ont été relevées sur la carte des carrières. Elles ne préjugent pas de celles qui résulteraient de mouvements de terre opérés par le propriétaire.

5.2.7 - Zonage

Dans ce qui suit, pour chaque étage d'exploitation de la carrière (1ère et 2ème masses) un zonage a été défini, en fonction des conditions d'accessibilité et des hauteurs de vides connues. Ce zonage est figuré dans la carte en couleurs jointe en annexe.

On examine alors, zone par zone, les principales caractéristiques de la carrière et les conditions techniques de son comblement.

5.3 - Sondages de contrôle

A l'issue des travaux de comblement et d'injection, des forages de contrôle doivent être réalisés au moins un mois après la fin des injections afin de vérifier l'efficacité des travaux de consolidation de sol des terrains traités. Ces forages, d'environ 90 mm de diamètre, sont à exécuter par une entreprise différente et indépendante de celle qui a réalisé les injections. Le maillage pris en considération est de 30 m x 30 m (soit 1 sondage pour 900 m² de terrain). Lorsque les carrières de 1ère et de 2ème masses sont superposées, les forages de contrôle seront communs aux deux masses.

5.4 - Travaux en 1ère masse

5.4.1 - Hypothèses

L'emprise concernée par l'exploitation de gypse de 1ère masse (souterrain et ciel ouvert) représente environ 12 hectares, l'exploitation souterraine étant de 10 hectares environ.

Le taux d'exploitation moyen de la carrière est d'environ 70 %.

Lorsqu'il y a une voirie ou des bâtiments en bordure de la carrière dans la zone de protection ou dans la marge de reculement, les travaux consistent à combler la carrière sur une largeur de 20 m, 30 m ou 40 m, suivant les secteurs, permettant de ramener la voirie et le bâti en dehors de la marge de reculement.

Pour éviter la construction de murs-barrages dans le nord de la carrière de haute masse, devenue dangereuse, on s'appuiera le plus possible sur les barrière de fontis existantes.

Selon les indications de la carte des carrières, l'exploitation de la 1ère masse de gypse a été réalisée pour partie à ciel ouvert, dans la zone ouest du terrain, et s'est prolongée en souterrain à flanc de coteau. La cote du sol de l'exploitation souterraine est à 70 NGF environ. Le terrain

superficiel est assez chahuté du fait de la présence de fontis. Sa cote s'élève progressivement du sud vers le nord, de la cote 69,72 NGF à la cote 114 NGF.

Ces indications altimétriques ont dû être modifiées à la suite de mouvements de terre ou de travaux de terrassement effectués par le propriétaire.

La carrière à ciel ouvert est susceptible d'être à l'origine d'affaissements. Toutefois, les voiries et propriétés riveraines sont situées en dehors de cette zone. Il n'y a donc pas lieu de prévoir de travaux de consolidation de sols dans ce secteur.

5.4.2 - Zone 1

Ce sont les carrières situées à l'ouest du terrain. Elles sont accessibles et en bon état. La technique la plus appropriée est celle d'un comblement direct. La hauteur des vides résiduels est variée de 1 m à 8 m. La dernière visite de l'Inspection générale des Carrières remonte à janvier 1996.

Dans un souci de simplification, deux zones ont été déterminées, l'une pour laquelle le vide restant est estimé à 2 m, et l'autre pour laquelle le vide restant est estimé à 6 m, chaque zone représentant environ la moitié de la surface.

Comme il ne paraît pas envisageable de revenir assurer ultérieurement le comblement de la zone située devant les fontis, on propose ici son remblaiement immédiat même si cette zone ne fait pas partie du périmètre de sécurité.

Le procédé pouvant être adopté est la purge du ciel de carrière avec l'enlèvement des bois pouvant subsister, afin de mettre les galeries en sécurité, puis le comblement total des carrières en commençant par les extrémités de galerie avec des engins. Un talus sera constitué depuis la surface.

Cette zone représente un volume de remblais à mettre en place que l'on peut estimer comme suit :

Surface brute de la zone 1	:	6 890 m ²
Surface approchée des piliers (30 %)	:	2 067 m ²
Surface nette de la carrière	:	4 820 m ²
Zone à 6 m : (4 820 / 2) x 6 m	:	14 460 m ³
Zone à 2 m : (4 820 / 2) x 2 m	:	4 820 m ³
Talus : [100 m (L) x 30 m (l) x 20 m (h)] / 2	:	30 000 m ³
TOTAL	:	49 280 m³
arrondi à	:	49 300 m³
Clavage (surface brute)	:	6 890 m²

5.4.3 - Zone 2

Cette zone est située immédiatement à l'est de la 1ère zone. Elle ne présente pas actuellement d'accès. Elle semble remblayée.

Des forages de reconnaissance sont à entreprendre pour s'en assurer. Ils pourront, au besoin, être équipés de tubes à manchettes ou de tubes crépinés en vue de leur injection ultérieure. Il est prévu de réaliser 5 sondages de 45 m de profondeur pour 4 000 m² de carrière non connue, **soit un linéaire total de 225 m.**

L'ensemble de cette zone sera clavé. S'il reste des vides résiduels en bordure des entrées, il sera utile de prévoir l'injection de coulis silicaté pour bloquer l'injection du coulis de clavage en clé de voûte.

Surface brute de la zone 2	:	4 000 m ²
Surface approchée des piliers (30 %)	:	1 200 m ²
Surface nette de la zone 2	:	2 800 m ²
Clavage (surface brute)	:	4 000 m²

Pour ce qui concerne les sondages de contrôle en zones 1 et 2, ces deux zones sont superposées en partie avec la carrière de 2ème masse (cf. zone 7).

Surface 1ère masse (6 890 + 4 000)	:	10 890 m ²
Surface 2ème masse sous-jacente (0/2m)	:	3 740 m ²
Surface à reconnaître	:	7 150 m ²

Il faudra donc réaliser 8 sondages de contrôle de 45 m de profondeur, **soit un linéaire total de 360 m.**

5.4.4 - Zone 3

Cette zone, située à l'est du chemin de la Montagne Savart paraît ne pas être totalement comblée. Elle présente de nombreuses entrées en cavage, toutes inaccessibles depuis janvier 1995. Le comblement sera exécuté par la technique des remblais humidifiés à partir de puits réalisés depuis la surface. Seule une partie de la zone peut être comblée dans un premier temps. On s'appuiera alors sur des fontis constatés lors des dernières visites de l'I.G.C.

L'ensemble de la zone sera clavé. S'il reste des vides résiduels en bordure des entrées, il sera utile de prévoir l'injection de silicate pour bloquer l'injection du coulis de clavage en clé de voûte.

La hauteur du remblaiement n'est pas connue. On peut considérer qu'il reste une hauteur de vide de 8 m. Le calcul donne alors :

Surface brute de la zone 3	:	4 070 m ²
Surface approchée des piliers (30 %)	:	1 220 m ²
Surface nette de la carrière	:	2 850 m ²
Volume des vides (hauteur 8 m)	:	22 800 m ³
arrondi à	:	22 800 m³
Clavage (surface brute)	:	4 070 m²

5.4.5 - Zone 4

Ce sont les carrières visitées à partir d'une entrée en cavage située au nord-ouest du chemin de l'Aqueduc Saint-Fiacre. Ces carrières sont comblées en grande partie.

Les immeubles des Grands Coteaux sont situés en dehors de la marge de reculement de 30 m. Ils ne sont donc pas affectés par le risque de survenance d'un fontis.

Il n'y a donc pas lieu de prévoir ici un remblaiement pour cette zone.

Cependant, une partie de la propriété des Grands Coteaux (espace vert) est sous-minée par la carrière souterraine. Il y a lieu de combler cette zone de carrière si les terrains sont occupés en surface.

5.4.6 - Zone 5

Cette zone concerne les carrières situées immédiatement au sud de l'aqueduc de la Dhuis. Elle a pu être reconnue après franchissement d'un souchet à l'aide d'échelles. Le pourtour de la carrière est visitable. La hauteur de vide est variable entre 8 m et 15 m. Les galeries sont devenues dangereuses (éboulements, ciels tombés, nez de piliers abîmés).

Le comblement sera exécuté par la technique des remblais humidifiés à partir de puits réalisés depuis la surface. On s'appuiera sur les barrières de fontis existantes. Dans les zones inaccessibles, on procédera par déversement d'un coulis de sablon ou de cendres.

Pour l'évaluation des quantités, on distingue trois zones :

5.4.6.1 - Zone 5A (angle nord-est)

L'ensemble de cette zone est à combler, y compris la galerie transversale, même si celle-ci ne fait pas partie du périmètre de sécurité car il serait dangereux de laisser se développer des fontis dans cette galerie de grande hauteur et le coût du traitement serait alors plus élevé. Il n'est pas prévu de traitement de la zone inaccessible où se sont déjà développés des fontis.

La hauteur de vide est variable, prise ici égale à 10 m en moyenne. La zone sera fermée au sud par la création d'un barrage à l'aide de remblai sec à l'aide de forages de gros diamètre, et clavage du ciel de galerie avec un coulis fortement dosé en ciment et ajout de silicate.

Surface brute 5 A (non compris la zone fontis) :	7 880 m ²
Surface approchée des piliers (30 %) :	2 364 m ²
Surface nette de la carrière :	5 516 m ²
Volume de vide (hauteur 10 m) :	55 160 m ³
arrondi à :	55 200 m³

Clavage (surface brute) :	7 880 m²
----------------------------------	----------------------------

5.4.6.2 - Zone 5B (bande centrale)

On traitera, là aussi, la galerie transversale en s'arrêtant sur les barrières de fontis.

On considère trois parties plus ou moins bien remblayées : une avec 9 m de vide résiduel, une avec 12 m et une troisième avec 15 m de vide.

	h = 9 m	h = 12 m	h = 15 m	Total
Surface brute de la zone 5B	1 560 m ²	2 540 m ²	2 290 m ²	6 390 m ²
Surface approchée des piliers (30 %)	468 m ²	762 m ²	687 m ²	1 917 m ²
Surface nette de la carrière	1 092 m ²	1 778 m ²	1 603 m ²	4 473 m ²
Volume de vide	9 828 m ³	21 336 m ³	24 045 m ³	55 209 m ³
arrondi à				55 200 m³

Clavage (surface brute) : 6 390 m²

5.4.6.3 - Zone 5C (extrémité ouest)

Elle est constituée d'une partie ayant pu être reconnue lors des visites, et d'une partie inaccessible car fermée par des barrières de fontis.

Pour la partie inaccessible, il est prévu de réaliser 3 sondages de reconnaissance de 45 m de profondeur pour 2 440 m² de carrière, **soit un linéaire total de 135 m.**

Surface de la zone accessible : 1 690 m²
 Surface approchée des piliers (30 %) : 507 m²
 Surface nette de la carrière : 1 183 m²
 Volume de vide (hauteur 8 m) : 9 464 m³
arrondi à : 9 500 m³

Surface de la zone inaccessible (sablon/cendre) : 2 440 m²
 Surface approchée des piliers (30 %) : 732 m²
 Surface nette de la carrière : 1 708 m²
 Volume de vide (hauteur 8 m) : 13 664 m³
arrondi à : 13 700 m³

Clavage (surface brute) : 4 130 m²

Pour ce qui concerne les sondages de contrôle, les zones 3 et 5 sont superposées en partie avec la carrière de 2ème masse (cf. zone 7).

Surface 1ère masse (4 070 + 18 400) : 22 470 m²
 Surface 2ème masse sous-jacente : 3 210 m²
 Surface à reconnaître : 19 260 m²

Il faudra donc réaliser 22 sondages de contrôle de 45 m de profondeur, **soit un linéaire total de 990 m.**

5.4.7 - Tableau récapitulatif des travaux dans la 1ère masse

Zone	1	2	3	4	5A 5B 5C	Total 1ère masse
Reconnaissance préalable		225 m			- - 135 m	360 m
Comblement mécanique	49 300 m ³				-	49 300 m ³
Remblais humidifiés			22 800 m ³	-	55 200 m ³ 55 200 m ³ 9 500 m ³	142 700 m ³
Inj. gravitaire sablon / cendres				-	- - 13 700 m ³	13 700 m ³
Clavage (surf. brute)	6 890 m ²	4 000 m ²	4 070 m ²	-	7 880 m ² 6 390 m ² 4 130 m ²	33 360 m ²
Sondages de contrôle	360 m	(avec zone 1)	(avec zone 5)	-	990 m	1 350 m

5.5 - Travaux en 2ème masse

5.5.1 - Hypothèses

Lorsqu'il y a une voirie ou des bâtiments en bordure de la carrière dans la zone de protection ou dans la marge de reculement, la carrière est comblée sur une largeur de 20 m, 30 m ou 40 m, permettant de ramener la voirie et le bâti en dehors de la marge de reculement.

Les hauteurs de vide mesurées résultent des visites faites par l'Inspection générale des Carrières jusqu'en janvier 1995 et de la visite de juin 1998.

Les carrières de 2ème masse se composent de plusieurs parties :

- une partie sous-minant la carrière de 1ère masse à l'ouest,
- une deuxième partie à l'est, sous-minant partiellement les carrières de 1ère masse présentant une zone visitable et partiellement comblée à partir d'une descenderie réalisée en 1994, et une partie inaccessible depuis l'intérieur, semblant, soit en partie comblée, soit effondrée.

Le sol de l'exploitation est à la cote 50,00 NGF environ. L'emprise concernée par l'exploitation souterraine de la 2ème masse de gypse représente environ 7 hectares.

Le taux d'exploitation moyen est de l'ordre de 70 %.

Seules deux zones de carrière sont étudiées ici :

- la bordure sud-ouest, où la carrière doit être comblée sur une distance de 30 m à partir du chemin des Bourdons (zone 6),
- la bordure nord, où la carrière doit être comblée jusqu'à une distance de 40 m à partir de l'allée de l'Aqueduc (zone 7).

Pour assurer la mise en sécurité totale de ces deux zones, un clavage des ciels de carrière est impératif. Dans la zone nord, où les deux exploitations souterraines sont superposées, on utilisera les mêmes forages pour claver les ciels des deux masses.

5.5.2 - Zone 6 (Bordure sud-ouest)

Cette zone est inaccessible. Elle nécessite une reconnaissance par sondages destructifs enregistrés afin de connaître l'état exact de comblement de cette zone, avec passage d'une caméra pour estimer l'importance des vides. Il est prévu de réaliser 7 sondages de 25 m de profondeur pour 6 260 m² de carrière mal connue, **soit un linéaire total de 175 m.**

Le comblement se fera à l'aide d'un coulis de sablon. La zone sera préalablement ceinturée avec la mise en oeuvre de remblai sec à l'aide de forage de gros diamètre. Elle sera complétée par l'injection de coulis silicaté en ciel de galerie.

A l'issue des travaux, il est prévu de réaliser 7 sondages de contrôle de 25 m de profondeur, **soit un linéaire total de 175 m.**

Surface brute de la zone (3 720 + 2 540)	:	6 260 m ²
Surface approchée des piliers (30 %)	:	1 878 m ²
Surface nette de la carrière	:	4 382 m ²
Volume de vide (hauteur 1,50 m)	:	6 573 m ³
arrondi à	:	6 600 m³
Clavage (surface brute)	:	6 260 m²

5.5.3 - Zone 7 (Bordure nord)

Cette zone sous-mine une carrière de 1ère masse. Elle est à combler avant la 1ère masse. Les hauteurs de remblais sont variables de 0 à 5 m. Elle est visitable.

Le comblement se fera à l'aide de remblais humidifiés. La zone sera préalablement ceinturée avec la mise en oeuvre de remblai sec à l'aide de forage de gros diamètre. Les barrages ainsi constitués seront complétés par l'injection de coulis silicaté en ciel de galerie.

Il sera créé un puits de descente du matériel et un puits de visite dans la partie Est - l'accès à cette zone étant dangereux - afin de placer des barbacanes dans les murs permettant l'évacuation de l'eau. La profondeur de chaque puits est de 65 m, pour un diamètre intérieur minimal de 1,40 m, **soit un linéaire total de puits de 130 m.**

Les mêmes techniques seront également adoptées dans la partie Ouest, les galeries étant visitables. Il ne sera pas nécessaire de créer des puits de descente.

En outre, il est prévu de réaliser 3 sondages de 60 m de profondeur pour 980 m² de carrière mal connue, soit un linéaire total de 180 m.

A l'issue des travaux, il est prévu de réaliser 8 sondages de contrôle de 60 m de profondeur, pour 6 950 m² de carrière avec deux masses superposées (1ère et 2ème masses), soit un linéaire total de 480 m.

	h = 0 m	h = 2 m	h = 5 m	Total
Surface brute de la zone 7	980 m ²	2 760 m ²	3 210 m ²	6 950 m ²
Surface approchée des piliers (30 %)	290 m ²	830 m ²	960 m ²	2 080 m ²
Surface nette de la carrière	690 m ²	1 930 m ²	2 250 m ²	4 870 m ²
Volume de vide	-	3 860 m ³	11 250 m ³	15 110 m ³
Arrondi à				15 100 m³

Clavage (surface brute) : 6 950 m²

5.5.4 - Tableau récapitulatif des travaux dans la 2ème masse

Zone	6	7	Total 2ème masse
Reconnaissance préalable	175 m	180 m	355 m
Comblement mécanique	-	-	-
Remblais humidifiés	-	15 100 m ³	15 100 m ³
Inj. gravitaire sablon / cendres	6 600 m ³	-	6 600 m ³
Clavage (surf. brute)	6 260 m ²	6 950 m ²	13 210 m ²
Puits	-	130 m	130 m
Sondages de contrôle	175 m	480 m	655 m

5.6 - Tableau récapitulatif des travaux à réaliser

Désignation	1ère masse	2ème masse	Total
Reconnaissance de sols préalable	360 m	355 m	715 m
Comblement mécanique	49 300 m ³	-	49 300 m ³
Remblais humidifiés	142 700 m ³	15 100 m ³	157 800 m ³
Injection gravitaire (sablon ou cendres)	13 700 m ³	6 600 m ³	20 300 m ³
Clavage	33 360 m ²	13 210 m ²	46 570 m ²
Puits	-	130 m	130 m
Sondages de contrôle	1 350 m	655 m	2 005 m

6 - Estimation financière des travaux

Les coûts de comblement mécanique ou de remblais humidifiés ont été estimés à partir d'anciens chantiers de remblaiement qui ont été suivis par l'Inspection générale des Carrières dans les années 1990-1995. Il convient de préciser que ce type de travaux, portant sur d'importants volumes à remblayer, est, par nature, extrêmement sensible aux variations économiques et à l'existence de grands chantiers de terrassement en région parisienne susceptibles de fournir des remblais de qualité acceptable. Le prix de revient de tels produits dépend, en effet, pour une très large part des conditions d'approvisionnement, incluant à la fois l'irrégularité de la production et les possibilités de stockage sur le site récepteur.

Dans le meilleur des cas, le coût d'approvisionnement en remblais peut être nul, l'entreprise se rémunérant par les recettes de mise en décharge des déblais, payées par les entreprises de terrassement. Seul reste alors le coût de mise en oeuvre des remblais en carrière.

Dans le pire des cas, en l'absence de chantiers de fouilles, l'entreprise peut être contrainte à s'approvisionner en sablon, dont le coût d'achat est plus élevé.

Les prix indicatifs donnés ci-après sont hors taxes, valeur 1999.

Le coût global obtenu *in fine* sera assorti d'une part d'une marge d'incertitude d'au moins 5 % pour prendre en compte l'incertitude sur l'estimation des vides de certaines zones, et d'autre part d'une révision de prix qui peut être estimée à 5 % s'agissant d'une opération envisagée sur une durée minimale de 3 ans.

En outre, il convient d'ajouter une provision de 10 % pour le suivi des travaux (maîtrise d'oeuvre, coordination sécurité-santé, bureau de contrôle).

Au total, il convient de majorer le coût final de 20 % pour tenir compte de l'ensemble des sujétions liées à l'opération.

6.1 - Comblement mécanique

Pour le comblement mécanique des galeries, on retient un coût total de l'ordre de **80 F/m³** (installation de chantier, fourniture et mise en oeuvre des matériaux).

6.2 - Remblais humidifiés

Pour les remblais humidifiés, on retient un coût total de l'ordre de **100 F/m³** (installation de chantier, forages, fourniture et mise en oeuvre des matériaux).

6.3 - Injection gravitaire de sablon humidifié

Pour les injections gravitaires, on retient un coût total moyen de **150 F/m³** (installation de chantier, forages, fourniture et mise en oeuvre des matériaux).

6.4 - Injection de clavage ou de traitement

Pour le coulis de clavage, on retient un coût de 185 F/m³ en moyenne auquel il faut ajouter la mise en oeuvre par injection sous pression (environ 120 F/m³) soit un coût d'injection de 300 F/m³.

Pour ce qui concerne les forages, on considère un forage d'une profondeur moyenne de 40 m avec une maille de 7 m x 7 m. On obtient un coût de forage de l'ordre de 50 F/m² de terrain traité.

Le volume de coulis à mettre en oeuvre est calculé en supposant un vide résiduel après comblement égal à 10 % environ du vide initial, soit un vide de 50 cm pour les galeries de 2ème masse et 1,20 m pour les galeries de 1ère masse. Dans les clavages de 1ère masse, en raison de la forme ogivale des piliers, la surface à traiter en toit est relativement réduite par rapport à la surface totale de la carrière. En moyenne, on adoptera pour les 1ère et 2ème masses un vide résiduel moyen de 80 cm sur l'ensemble de la surface traitée.

Le coût total au m² de surface traitée devient : $300 \text{ F/m}^3 \times 0,80 \text{ m} + 50 \text{ F/m}^2 = 290 \text{ F/m}^2$, arrondi à **300 F/m²**.

6.5 - Puits

On pourra prendre en compte un prix unitaire de **6 500 F/m** pour un puits de 1,40 m de diamètre intérieur.

6.6- Sondages de reconnaissance et de contrôle

On pourra prendre en compte un prix unitaire de **370 F/m** pour un sondage destructif enregistré.

6.7 - Tableau récapitulatif du coût des travaux

Désignation	Quantité	Prix unitaire (F.H.T.)	Prix total
Reconnaissance de sols préalable	715 m	370,00	264 550,00
Comblement mécanique	49 300 m ³	80,00	3 944 000,00
Remblais humidifiés	157 800 m ³	100,00	15 780 000,00
Injection gravitaire sablon ou cendres	20 300 m ³	150,00	3 045 000,00
Injection de clavage	46 570 m ²	300,00	13 971 000,00
Puits d'accès	130 m	6 500,00	845 000,00
Sondages de contrôle	2 005 m	370,00	714 850,00
Total travaux H.T.			38 564 400,00
Provision 20 % (aléas et suivi travaux)			7 712 880,00
TOTAL GENERAL H.T.			46 277 280,00

Il convient de rappeler que de coût ne comprend pas l'évaluation des travaux de remise en état préalable du site tels qu'ils ont été préconisés par l'Inspection générale des Carrières dans son courrier du 11 septembre 1997 (Retrait de tous les matériaux impropres au remblayage de la carrière qui ont été indûment mis en place en 1ère et en 2ème masses, évacuation des merlons et de la colline de gravats, compte tenu des risques d'affaissements engendrés par ces surcharges).

7 - Calendrier prévisionnel

Le rythme de comblement des vides peut être limité par des contraintes techniques et financières.

Un rythme de 600 à 800 m³/jour de remblais correspond à un maximum possible compte tenu du débit prévisible de la fourniture d'eau, de la capacité d'absorption d'un puits de fort diamètre en remblais humidifiés, des rotations de camions acheminant les matériaux ;

Avec un tel rythme, la totalité des travaux récapitulée au paragraphe 6.7 pourrait s'effectuer dans un délai de 2 à 3 ans.

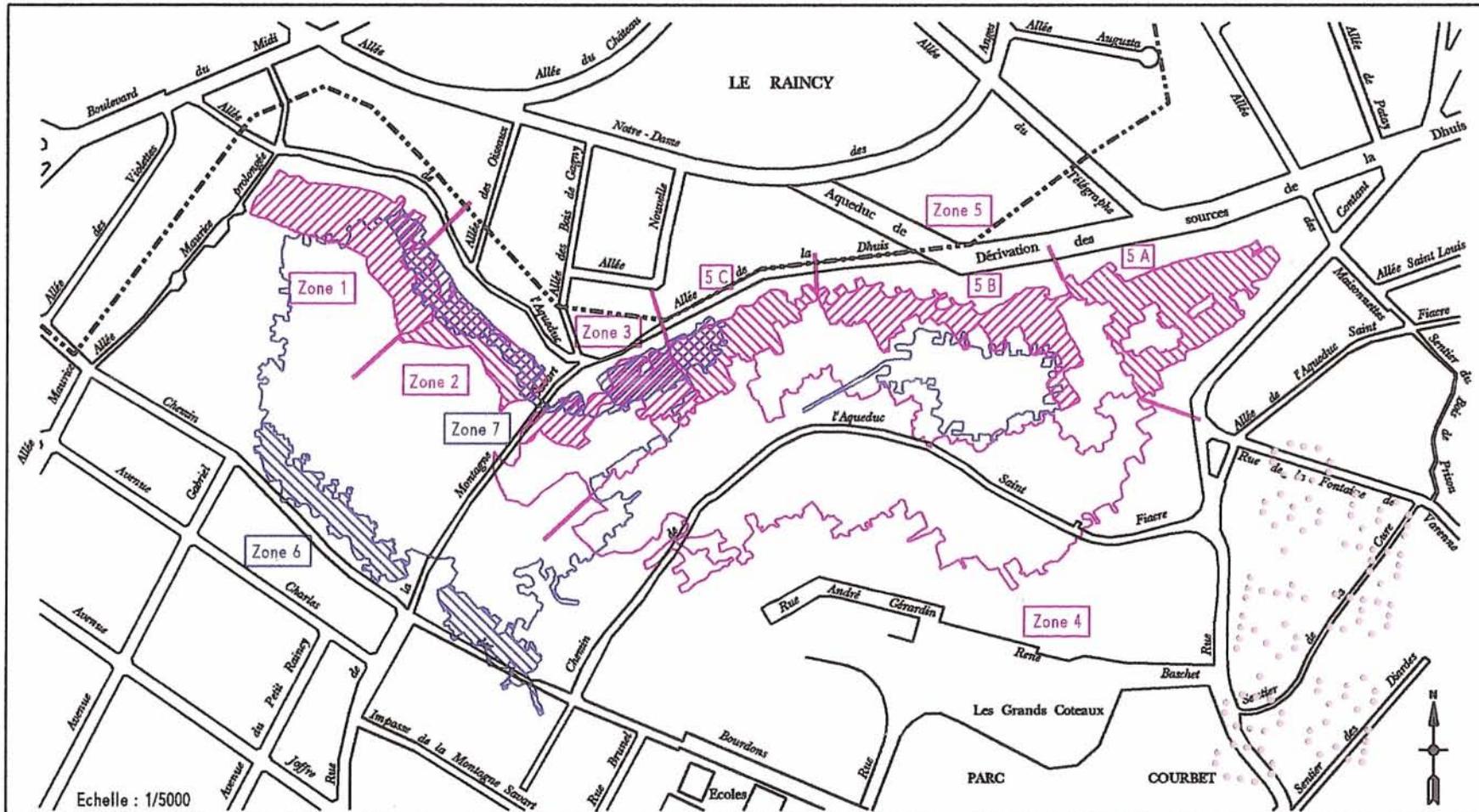
8 - Liste des annexes

1. Extrait du rapport SEMOFI du 16 septembre 1994 (carrières de la Montagne Savart - Société S.A.T. - Avant-projet sommaire), hors annexes photos et plans,
2. compte-rendu "Mairie de Gagny" de la réunion du 28 janvier 1995,
3. lettre IGC au maire de Gagny du 2 février 1995, (réf. HPS 95-33),
4. lettre IGC à M. MARTO du 25 janvier 1996 (réf. DET/DP/96-21),
5. compte-rendu IGC de la réunion technique du 1er février 1996,
6. lettre IGC au maire de Gagny du 13 mars 1996 (réf. DET/DP/96-57),
7. lettre IGC au maire de Gagny du 11 septembre 1997 (réf. DET/DL/97-WEST1),
8. lettre IGC au maire de Gagny du 7 juillet 1998 (réf. AML/98-176),
9. lettre IGC au maire de Gagny du 25 janvier 1999 (réf. AML/99-14),
10. carte couleur "Emprise des carrières", au 1/5000e,
11. carte couleur "Zonage de l'aléa", au 1/5000e,
12. carte couleur "Zonage des travaux", au 1/5000e,
13. carte d'assemblage des carrières au 1/1000e.

*

* *

ZONAGE DES TRAVAUX



VILLE DE GAGNY

carrières de l'Ouest

- contours de la carrière de Gypse 1^o masse
- contours de la carrière de Gypse 2^o masse

-  travaux en 1^o masse
-  travaux en 2^o masse

Septembre 1999

ANNEXE 12