

CONNAITRE LE SOUS-SOL, UN ATOUT POUR L'AMENAGEMENT URBAIN-

CARTOGRAPHIE MICROGRAVIMETRIQUE DE CARRIERES SOUTERRAINES

APPLICATION AU PLAN D'AMENAGEMENT DU QUARTIER EST DE CAEN

F. RAYMOND, Architecte Urbaniste

J. LAKSHMANAN, J.C. ERLING, Compagnie de Prospection Géophysique Française

## RESUME

Suite à de nombreux incidents de sols survenus dans le quartier Nord-Est de la Ville de Caen, il a été décidé d'effectuer un repérage systématique des anciennes carrières souterraines de calcaire Bathonien, dont certaines, déjà connues dans ce secteur, laissaient apparaître des désordres importants.

Une prospection microgravimétrique sur l'ensemble du terrain (50 ha) a permis de repérer des zones d'anomalies suspectes, qui, après vérifications par sondages mécaniques, ont confirmé l'existence de carrières souterraines étendues.

Sur ces anomalies microgravimétriques, les moyens de contrôle utilisés (sondages mécaniques destructifs avec diagraphies instantanées, complétés par endroit par des photographies en forage) ont précisé en particulier l'importance et l'étendue de ces carrières, ainsi que l'état actuel du sous-sol.

La connaissance acquise par ces études a permis à la Ville de Caen de chiffrer le coût de comblement des carrières par remblayement et d'envisager l'utilisation des terrains concernés pour un projet d'urbanisme.

Celle-ci implique la maîtrise du Foncier et donc une procédure du type ZAC.

Le projet de plan masse tient compte de la position des vides carrières majeurs, qui, dans certains cas seront utilisés pour l'implantation des parkings enterrés.

### 1. - Nécessité d'une recherche systématique

Lors de la réalisation de plans d'aménagement, de projets immobiliers étendus ou de voirie importante dans les zones où l'on craint des vides souterrains, le maître d'ouvrage et son maître d'oeuvre se doivent de poser la question suivante : "faut-il prospecter l'ensemble du terrain avant d'établir un plan masse, ou faut-il reconnaître préférentiellement le terrain au droit des

ouvrages ?" Compte-tenu du facteur économique et malgré le développement d'une méthode géophysique fiable, il s'avère que l'on doit distinguer deux cas :

- Cavités étendues (généralement des carrières souterraines), dans ce cas on peut prospecter l'ensemble du terrain dès le stade préliminaire de l'étude, à une maille de l'ordre de 10 x 10 m à 20 x 20 m.
- Cavités peu étendues (marnières ou cavités de dissolution), nécessitant des mailles serrées (2 x 2 m à 5 x 5 m), limitées aux bâtiments, ouvrages et voies.

C'est en ce sens qu'a conclu la Commission réunie par Sécurité, présidée par Monsieur HABIB, Président du Comité Français de Mécanique des Sols, aux travaux de laquelle l'un de nous a participé, et qui a été chargée d'établir des "Recommandations sur le traitement des cavités souterraines et notamment des carrières".

Dans la région de Caen, il existe d'importantes exploitations situées entre 5 et 20 m de profondeur. Leur étendue complique la tâche du constructeur, mais facilite celle du prospecteur.

Dès 1961, la Compagnie de Prospection Géophysique Française réalisait, pour le compte de la Ville de Caen, la première prospection gravimétrique de ce type dans le Quartier de la Maladrerie. Depuis, une cinquantaine d'études gravimétriques ont suivi à Caen et dans les communes limitrophes (Hérouville - Saint Clair, Carpiquet, Fleury-sur-Orne, Cormelles - Le Royal), sous l'impulsion des Services Techniques de la Ville de Caen et son Service des Carrières.

Depuis 1975, est venue compléter la microgravimétrie une technique de sondage destructif avec enregistrement des vitesses d'avancement et photographie des vides.

La C.P.G.F. a ainsi réalisé dans la région de Caen, plus de 8 000 stations gravimétriques et 2 000 mètres linéaires de forages destructifs avec enregistrement de paramètres.

Une dizaine d'entre elles concernent les carrières situées en rive gauche de l'Orne (Quartier Est de Caen, C.H.R. et Hérouville - Saint Clair). Dans ce secteur, le toit des carrières est particulièrement instable, du fait de la "poussée au vide", vers la vallée de l'Orne.

Le Service des Carrières de la Ville de Caen y a recensé plusieurs dizaines d'incidents ou d'accidents, heureusement sans gravité, survenus depuis 20 ans, et a été amené à prendre un arrêté de péril, et un projet de reprise en sous-oeuvre est en cours.

Aussi, les Services Techniques de la Ville de Caen ont décidé d'effectuer un repérage systématique des anciennes carrières souterraines de cette partie Nord-Est de Caen qui représente une surface de 50 hectares.

## 2. - Moyens mis en oeuvre

### 2.1 - Gravimétrie

Ce type de prospection, utilisé pour la recherche de vides, consiste à mettre en évidence les variations anormales de la pesanteur terrestre (anomalies négatives), par mesure de la composante verticale de "g", à l'aide d'un gravimètre.

Cette méthode permet la mesure directe d'un déficit de masse du sous-sol, qui, dans le contexte de l'étude concernée (carrières souterraines étendues), se manifeste par une diminution plus ou moins importante de la pesanteur, dépendant essentiellement du volume de la cavité, la profondeur des vides étant à priori connue (plusieurs carrières souterraines déjà recensées dans le Quartier Est de Caen).

#### 2.1.1 - Mesures gravimétriques

L'appareil utilisé est un gravimètre LaCoste et Romberg, modèle D, à lecture électronique, donnant des lectures relatives au millième de milligal ( $10^{-9}$  g) avec une précision de mesure de 0,5 centième de milligal (écart type des mesures reprises à différentes dates).

L'ordre de grandeur des anomalies recherchées est de 5 à 15 centièmes de milligal.

Dans un premier temps, il a été effectué un quadrillage du terrain à la maille de 20 x 20 m, en se limitant à une zone de 10 ha jugée apparemment la plus critique, et en effectuant un rayonnement autour de cette zone à l'aide de 10 profils espacés de 50 à 150 m.

Dans une deuxième phase, le maillage a été resserré à 10 x 10 m et à 5 x 5 m sur les anomalies les plus suspectes et comportant une plus forte densité de bâtiments (emprise de l'ancien hôpital en particulier).

Les mesures ont été étalonnées sur des carrières souterraines connues.

Au total, pour avoir une bonne connaissance de la zone étudiée, 1 100 stations gravimétriques ont été effectuées, soit 22 stations par hectare.

#### 2.1.2 - Traitement des mesures

En plus des corrections habituelles (altitude, latitude, dérive instrumentale et luni-solaire, etc...), conduisant à ramener les mesures relatives sur un même plan horizontal, il a été réalisé des corrections spéciales de terrain sur ordinateur, du fait d'un environnement topographique particulier (bâtiments, caves, front de taille d'anciennes carrières à ciel ouvert).

L'ensemble des calculs et corrections a été effectué sur un ordinateur puissant (Control Data 7600).

Par ailleurs, sur des anomalies particulièrement suspectes, il a été appliqué, dans le cadre d'une étude D.G.R.S.T., un programme de reconstitution des variations de densité à partir de la carte gravimétrique (utilisation du programme FILT - figures 1 et 2).

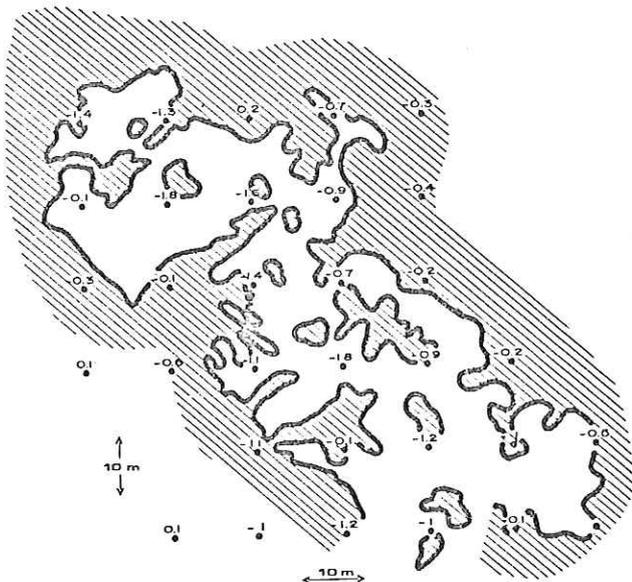


Fig. 1 - Comparaison entre une carrière et les densités reconstituées par le programme FilT.

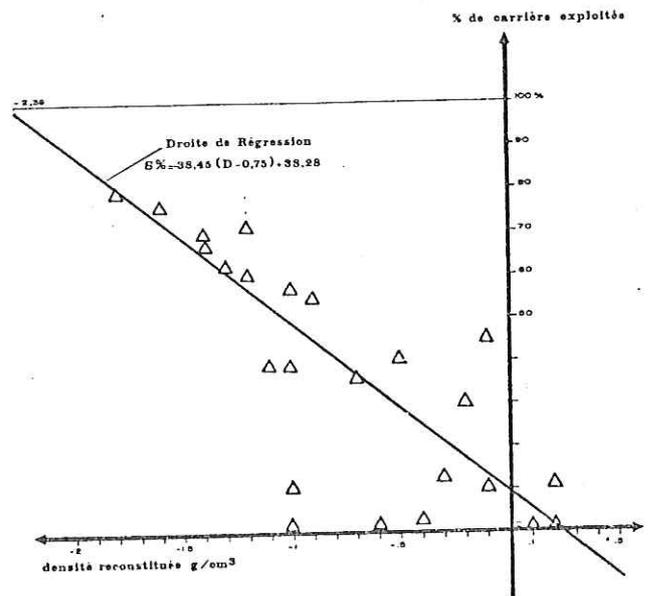


Fig. 2 Corrélation entre la densité reconstituée et le pourcentage de carrière exploitée.

## 2.2 - Forages

Pour préciser, suite à l'étude gravimétrique, l'importance des vides éventuels dans le terrain, il a été impianté sur les anomalies les plus caractéristiques, dans une première phase, 20 sondages mécaniques destructifs de 15 m, complétés par 10 sondages dans les zones indiquant des vides importants.

Ces sondages ont été réalisés au Wagon-Drill en rotation et percussion rapide, avec examen visuel des débris de forage et enregistrement en continu de deux diagraphies instantanées :

- la diagraphie de vitesse d'avancement de l'outil, nous renseignant sur la hauteur des vides, l'épaisseur des terrains décomprimés ou remblayés, les zones de calcaire altéré ou fissuré, etc...
- la diagraphie de percussion réfléchie, liée aux vibrations provoquées par la percussion dans les terrains traversés et nous renseignant sur les variations de compacité de ces terrains.

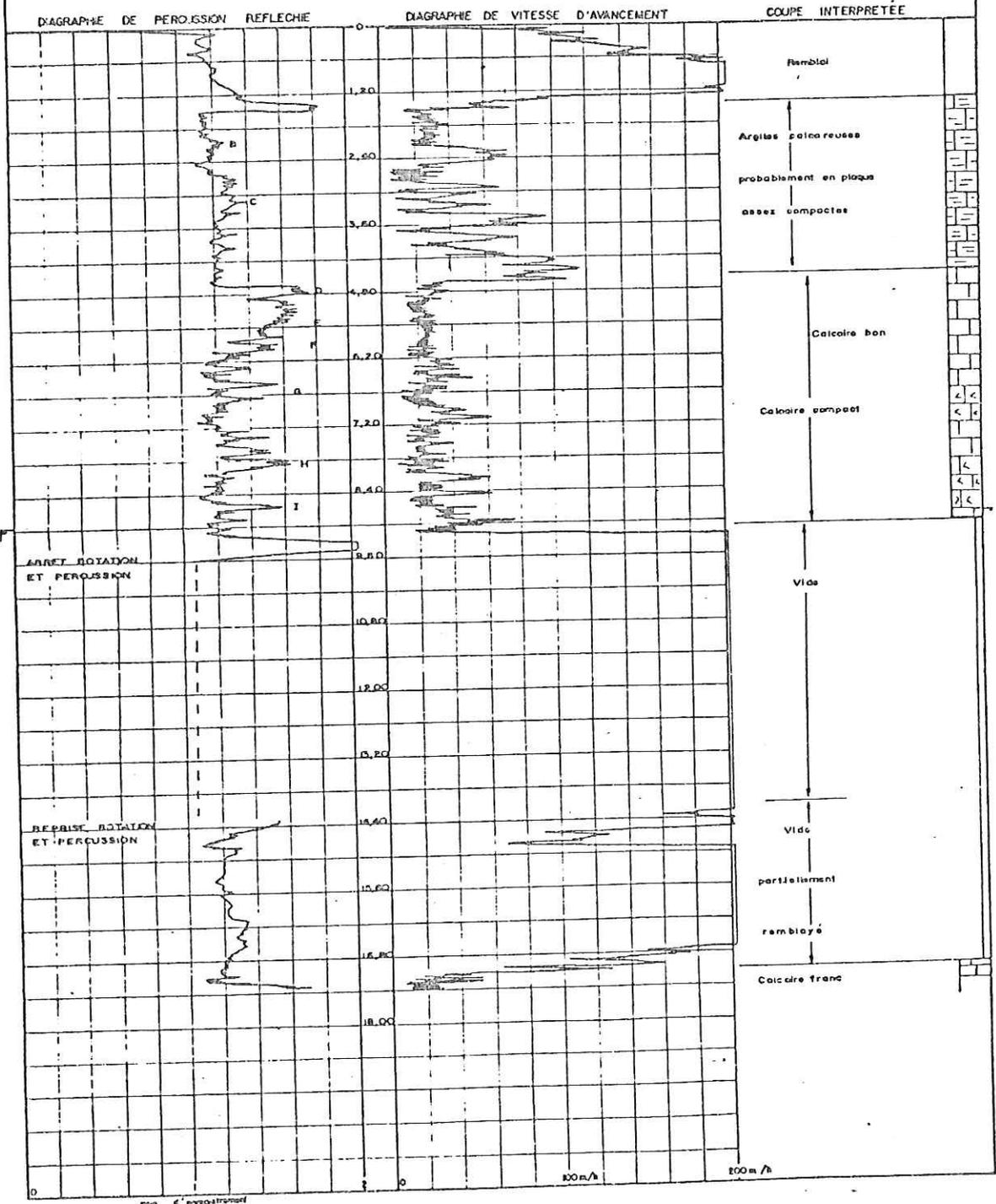
Des exemples de diagraphies sont indiqués sur les figures 3, 4 et 5.

C.R.G.R. 1406

- FIG. 3 -

SONDAGE N° C.2

ECOLE DE PHARMACIE



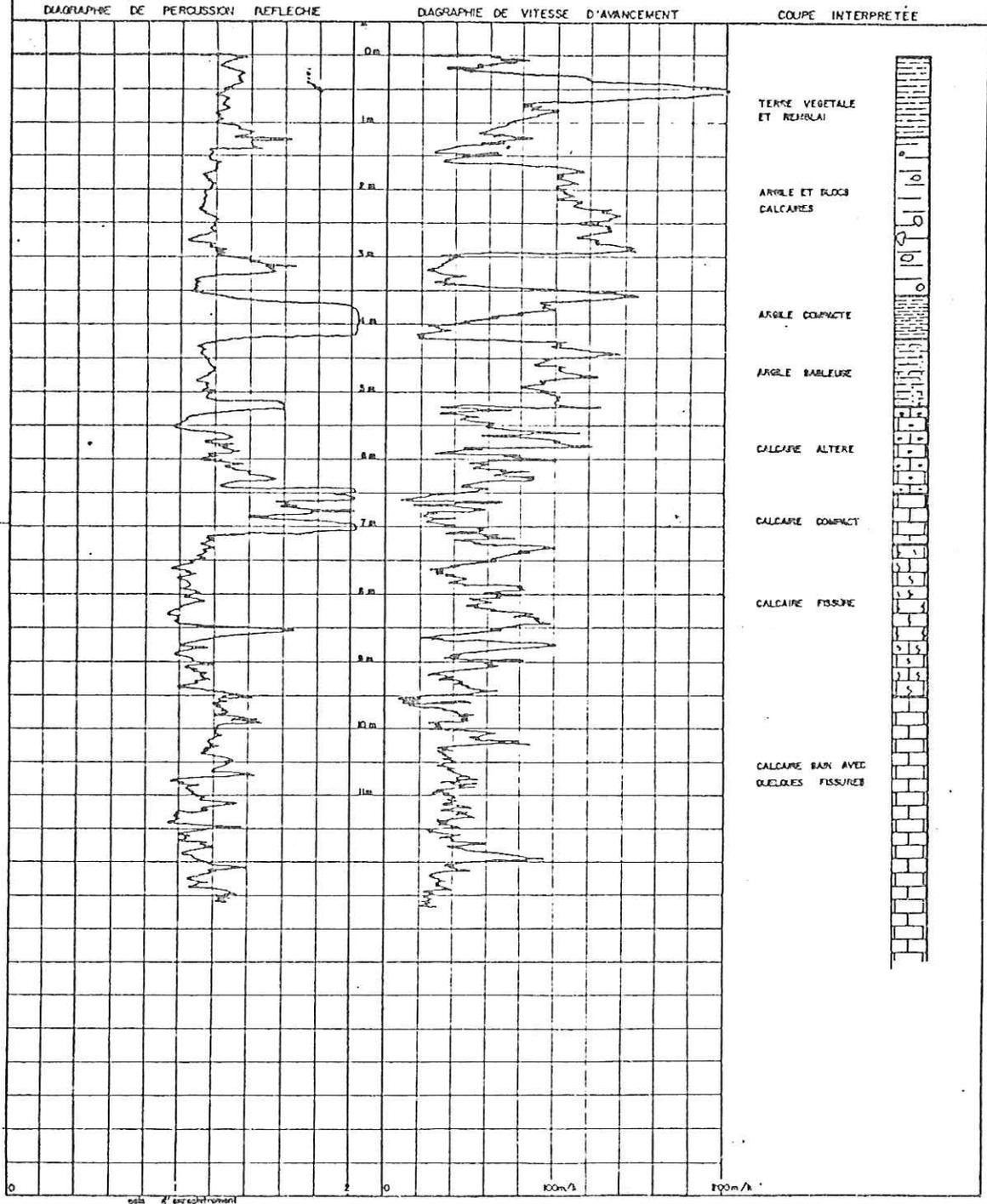
gon. 6° enregistrées

- FIG-4 -

VILLE DE CAEN - QUARTIER DE L'HOPITAL

SONDAGE N° 3

COTE NIF 19.65 m



- FIG-5 -

VILLE DE CAEN - QUARTIER DE L'HOPITAL

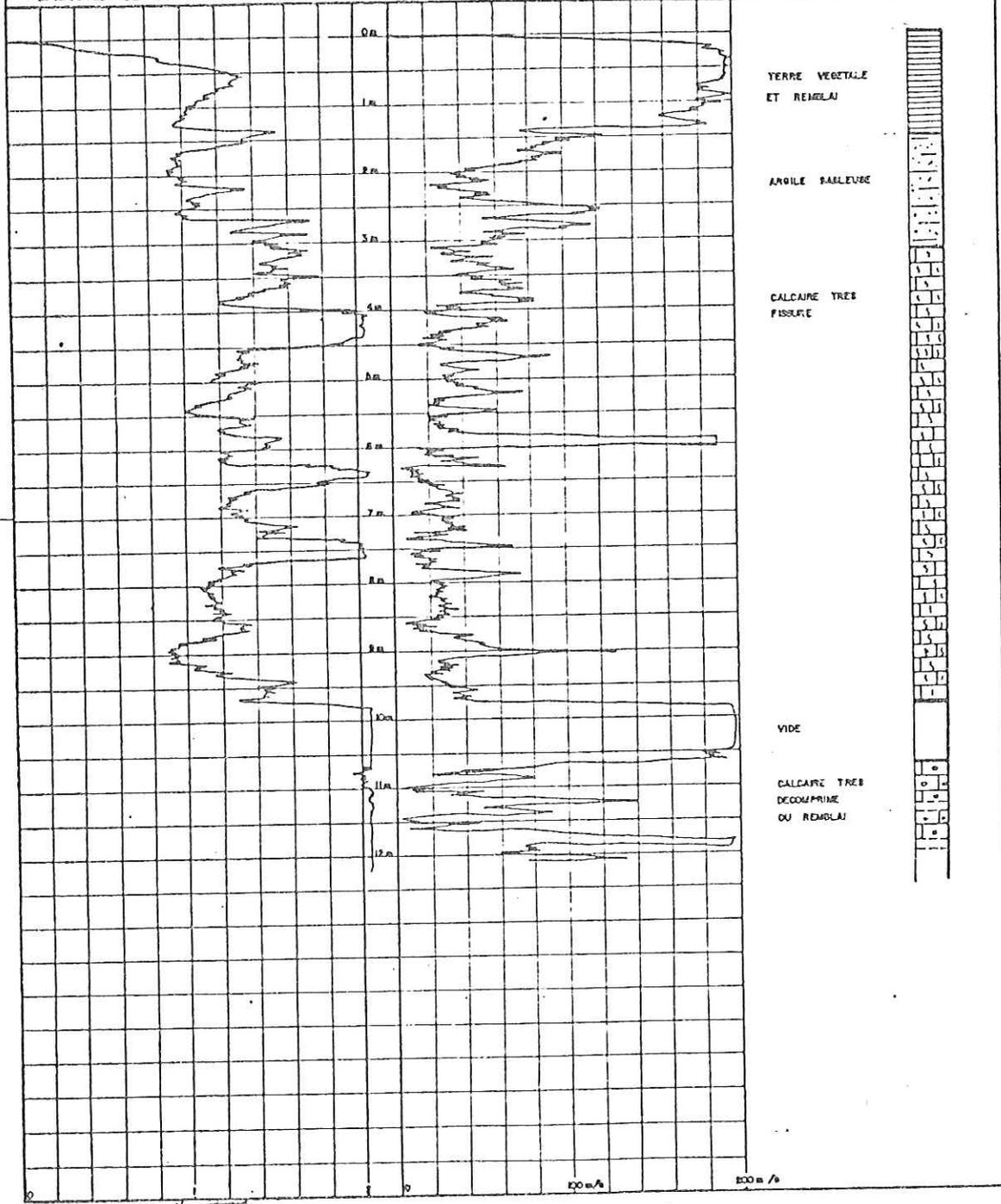
SONDAGE N° 18

COTE NAF 8540m

DIAGRAMME DE PERCUSSION REFLECHE

DIAGRAMME DE VITESSE D'AVANCEMENT

COUPE INTERPRETEE



### 2.3 - Photographies en forage

Pour vérifier l'extension des zones de vides importants décelés par forage et inaccessibles, il a été effectué des photographies panoramiques des vides en descendant un appareil photographique dans des trous de forages de 89 mm de diamètre.

La figure 6 montre une photographie panoramique vers 10 m de profondeur dans une carrière souterraine décelée sous les bâtiments de l'U.E.R. de Pharmacie.

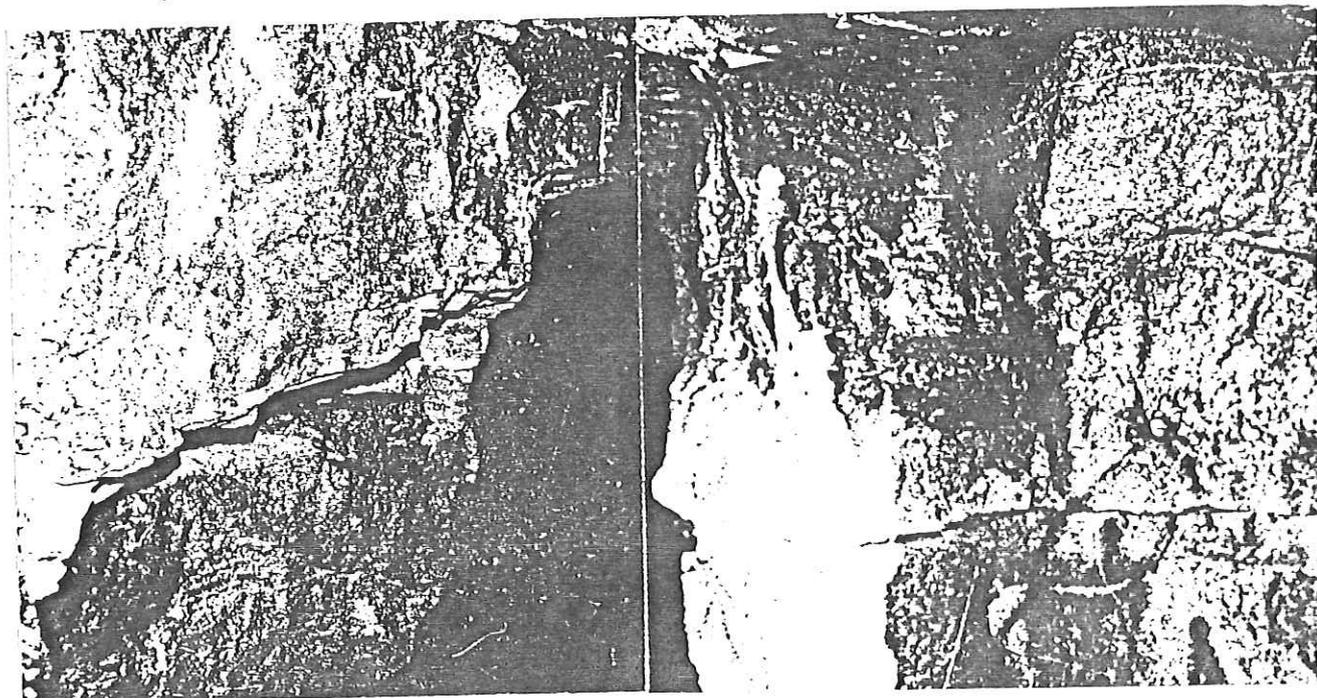


Figure n° 6

### 3. - Résultats acquis

Un extrait des résultats de la campagne par gravimétrie et sondages mécaniques destructifs apparaît sur la figure 7.

La prospection gravimétrique a permis de localiser des anomalies importantes (-4 à -16 centièmes de milligal), en relation, pour la plupart, avec d'anciennes zones de carrières souterraines, vides ou en bonne partie comblées, comme l'indiquent les résultats des sondages mécaniques (chiffres portés en regard des points de forage).

Sur l'anomalie principale, a été décelée une carrière accessible et relativement importante (limites indiquées en tireté).

1460 Surface brute de plancher hors oeuvre par bâtiment

73 Nombre de logements par bâtiment

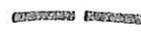
24 Nombre places de parking

 Emprise des constructions en élévation

 Emprise des parkings en sous sol

 Accès parking

 -12 Anomalie gravimétrique

 Limite des carrières

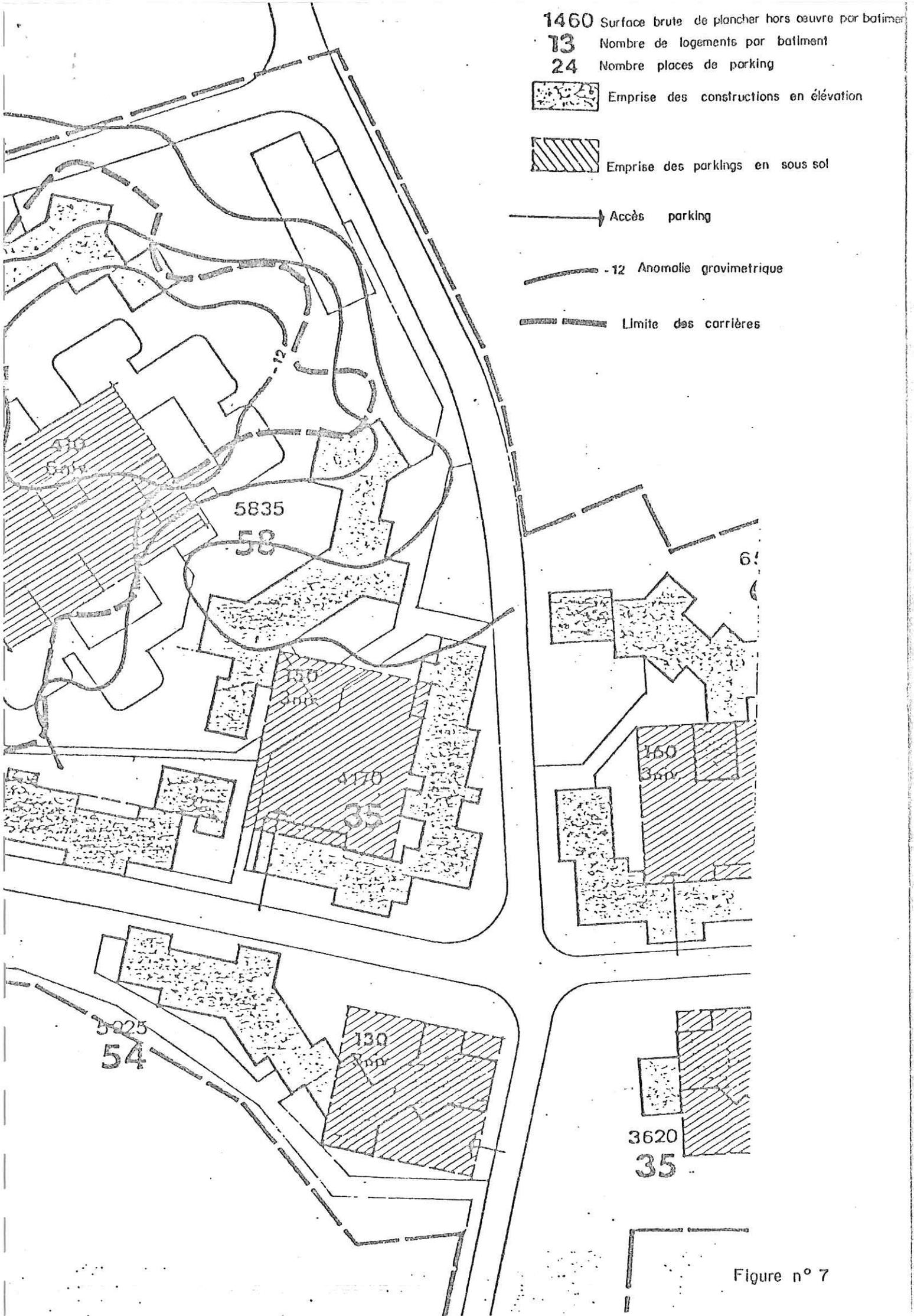


Figure n° 7

Sur d'autres anomalies, des forages ont décelé des vides de hauteur variable (1 à 3 m) et des remblais importants attribués vraisemblablement à d'anciennes carrières inaccessibles, pouvant indiquer une extension vers le Nord des carrières souterraines connues.

L'hypothèse de carrière importante sous une autre anomalie a été vérifiée par des photographies en forage. On note en particulier des désordres importants dans les bâtiments existants (bâtiments actuellement évacués).

Les autres zones d'anomalies environnantes (-8 à -10 centièmes de milligal), contrôlées également par sondages mécaniques, sont en relation avec d'anciennes exploitations souterraines en majeure partie effondrées et remblayées montrant 15 à 20 % de vides résiduels.

#### 4. - Application au plan d'aménagement

Au départ, le problème a été posé en termes de réutilisation des terrains pour une opération d'urbanisme, après confortement de l'ensemble des carrières par remblaiement, ce qui revenait à traiter le sol comme un sol normal mais nécessitant des fondations spéciales descendues à une profondeur de 18 m environ. Le sol des anciennes carrières est en effet à la cote + 8 m NGF alors que le terrain est à la cote moyenne de + 25 m NGF.

Le coût de libération du sol et le remblaiement avaient été chiffrés avec précision comme des composantes fixes du coût de l'opération.

Plusieurs hypothèses de densité ont été testées tant sur le plan de la volumétrie et des épannelages qu'en ce qui concerne la charge foncière résultante par logement.

Les besoins en places de stationnement étaient satisfaits par des silos enterrés descendus jusqu'au sol des carrières. Compte-tenu des ouvrages fixes -rampes d'accès, ventilation- le "module" de 50 voitures par niveau sur 6 niveaux soit 300 voitures est apparu comme un minimum.

Localiser les silos au mieux des vides carriés tout en respectant une distance maximum entre le logement et le stationnement, telle était l'une des contraintes de la composition qu'il convenait de concilier avec les impératifs de surface.

L'augmentation des densités, compte-tenu de ces données, est apparue comme ayant une double influence financière remettant partiellement en cause les prévisions de départ : meilleure répartition des charges d'acquisition mais aussi réduction des coûts de remblaiement par augmentation du cube des volumes enterrés.

L'utilisation des dalles sur parking pour l'implantation de certaines constructions légères -groupe scolaire ou équipements publics- est susceptible par ailleurs de réduire la charge de la collectivité par économie de fondations spéciales.