L'urbanisme face au risque "cavités souterraines"

L'exemple de la région parisienne

Anne-Marie Prunier Leparmentier, Géologue
Xavier Piccino, Ingénieur des Mines
Inspection générale des Carrières

11 mars 2010
LES JEUDIS DE L'ENVIRONNEMENT DU CNAM

Sommaire

I. De la géologie à l'urbanisme

Géologie, matériaux et modes d'exploitation

II. Les risques liés aux cavités souterraines en milieu urbain

Phénomènes dangereux, incidents historiques et missions des Inspections générales des Carrières

III. Les évolutions récentes de la prévention des risques naturels

Loi Risque, Fonds Barnier, Plan de Prévention des Risques, Responsabilités

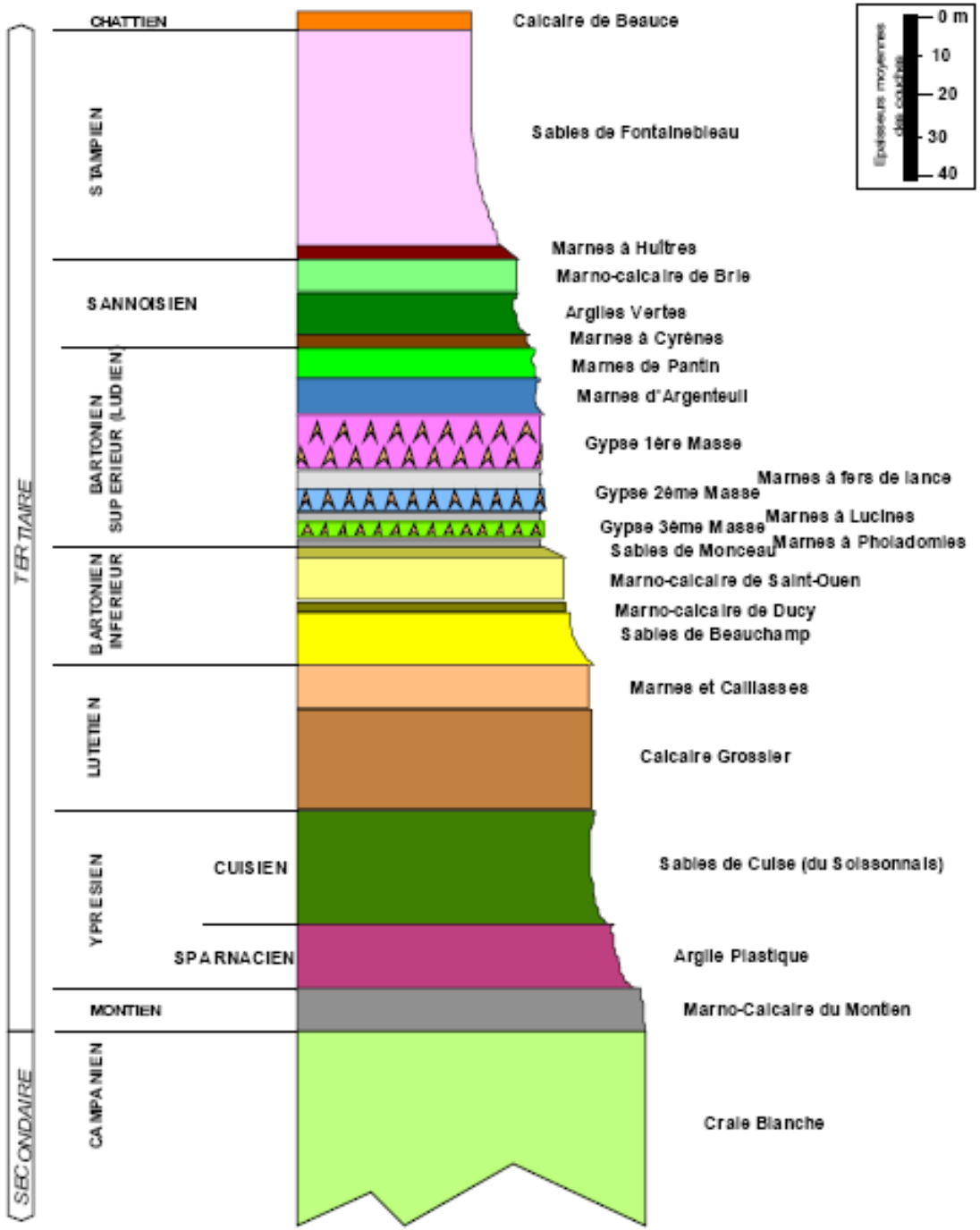
I. De la géologie à l'urbanisme

… ou un sous-sol riche pour une urbanisation dense …

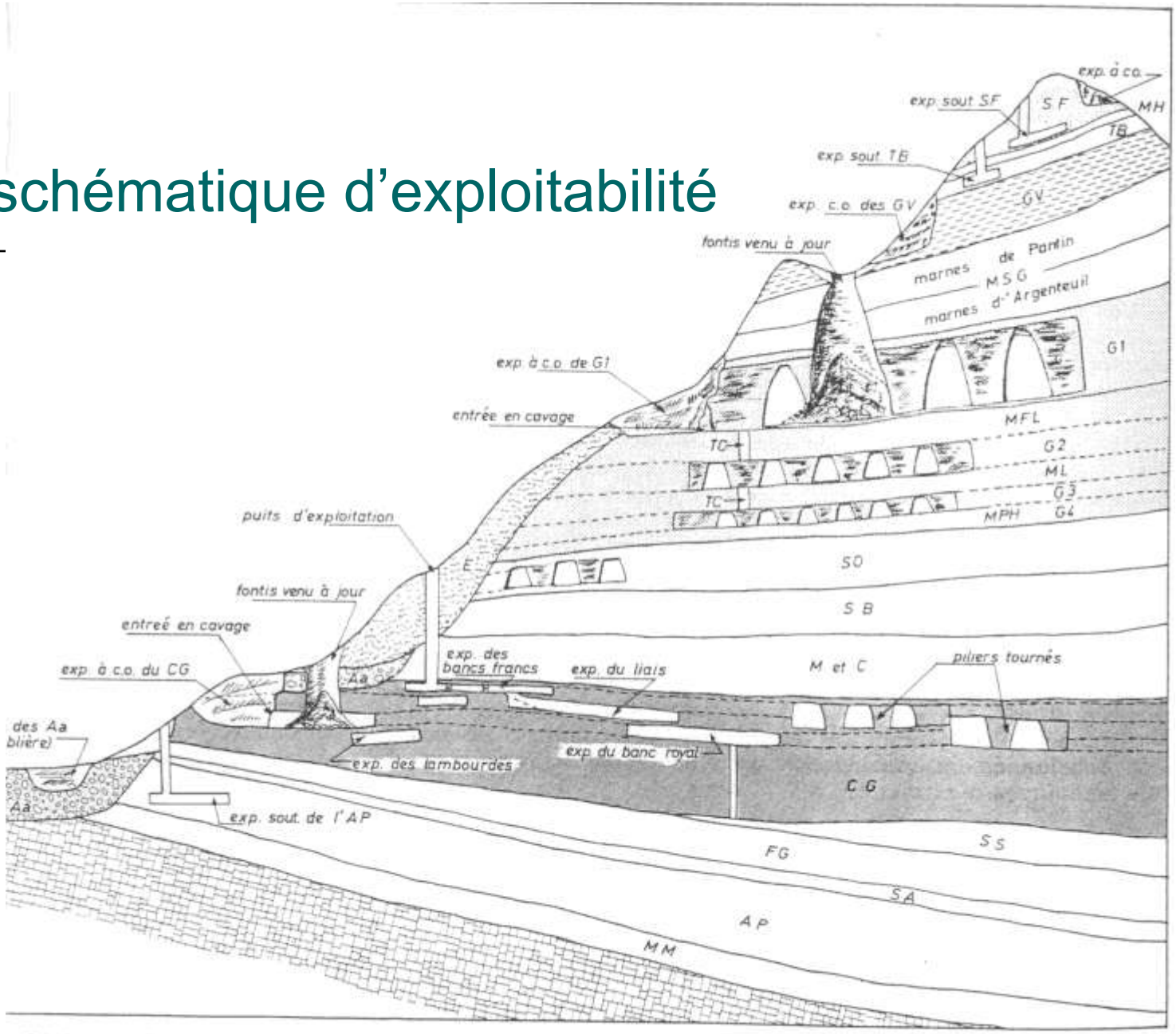
La connaissance du sous-sol

- La **stratigraphie** locale avec les matériaux exploitables
- La **topographie** locale
- La **tectonique** locale
- L'**hydrogéologie** locale à une échelle fine et l'hydrologie, notamment les sources, les captages et les aqueducs souterrains
- Indice supplémentaire: la **toponymie**, plus difficile en site urbain.

Coupe géologique parisienne « type »



Coupe schématique d'exploitabilité

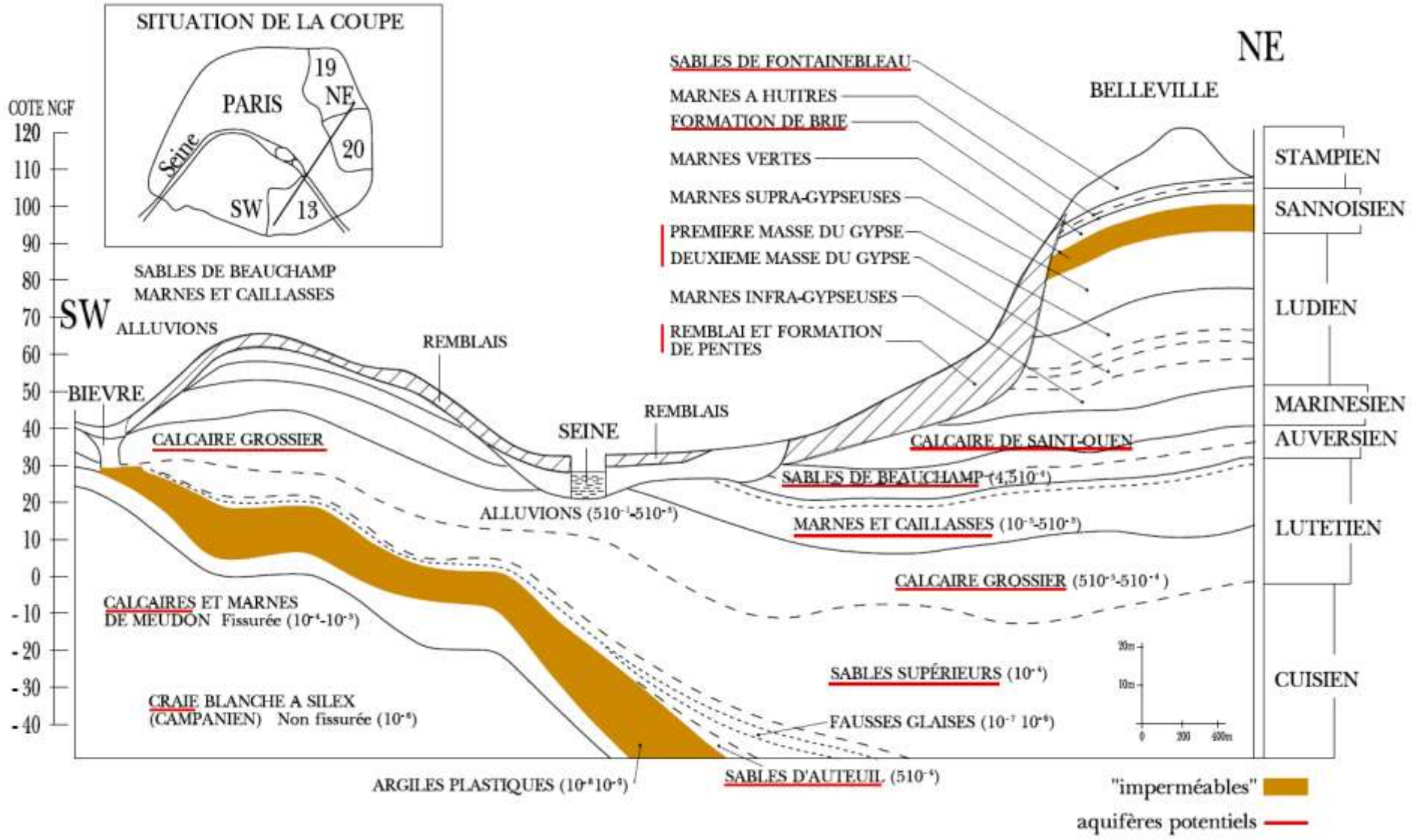


31.1. — *Coupe théorique du sol de la région parisienne. Différentes exploitations souterraines et à ciel ouvert.*

Hydrogéologie et hydrologie

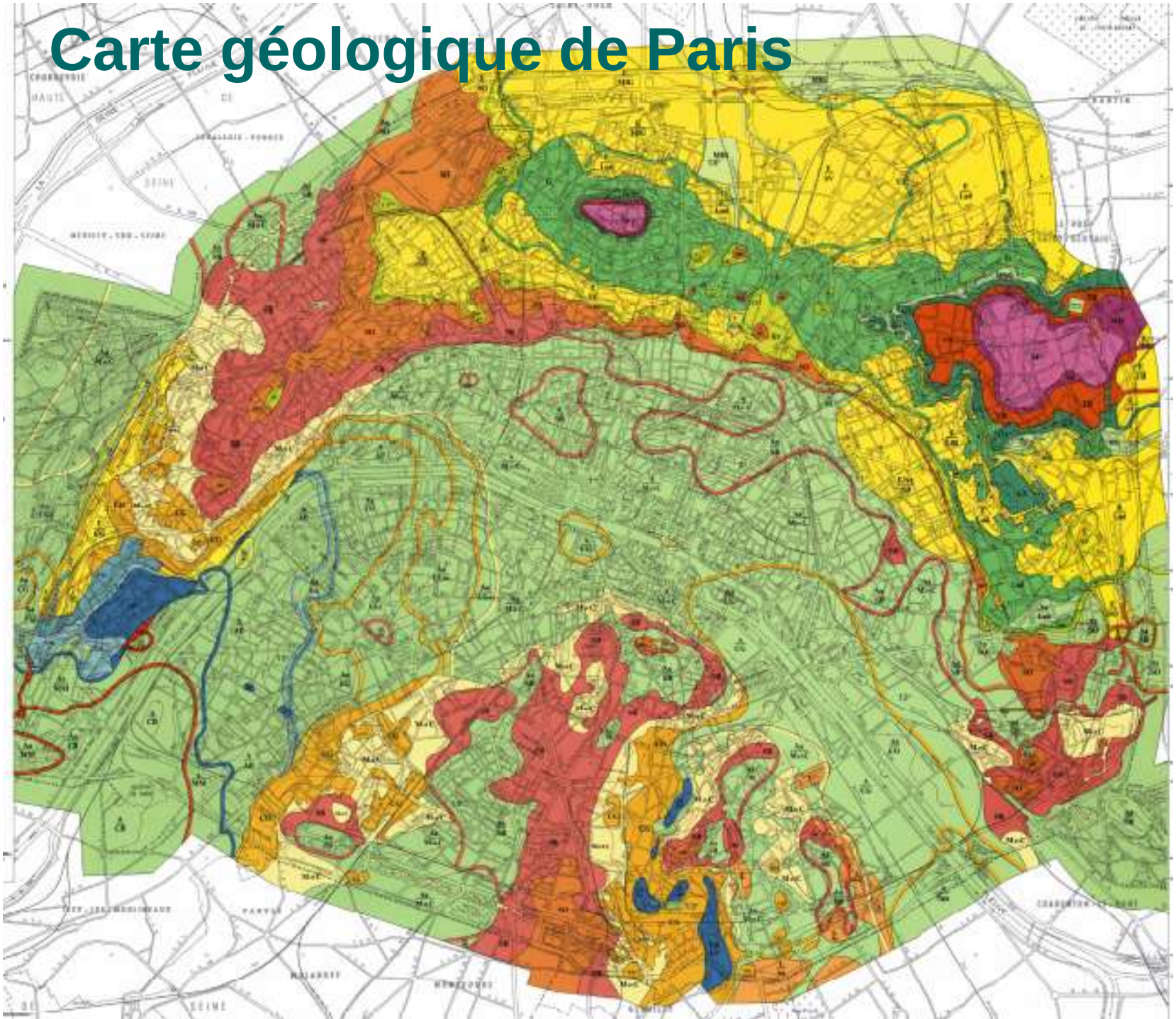
- Les carrières n'ont été que très rarement exploitées sous eau
- Les eaux de surface, en s'infiltrant, ont détérioré la qualité des matériaux
- Des aménagements d'amenées d'eaux (puits, …) sont aussi des indices d'exploitation.

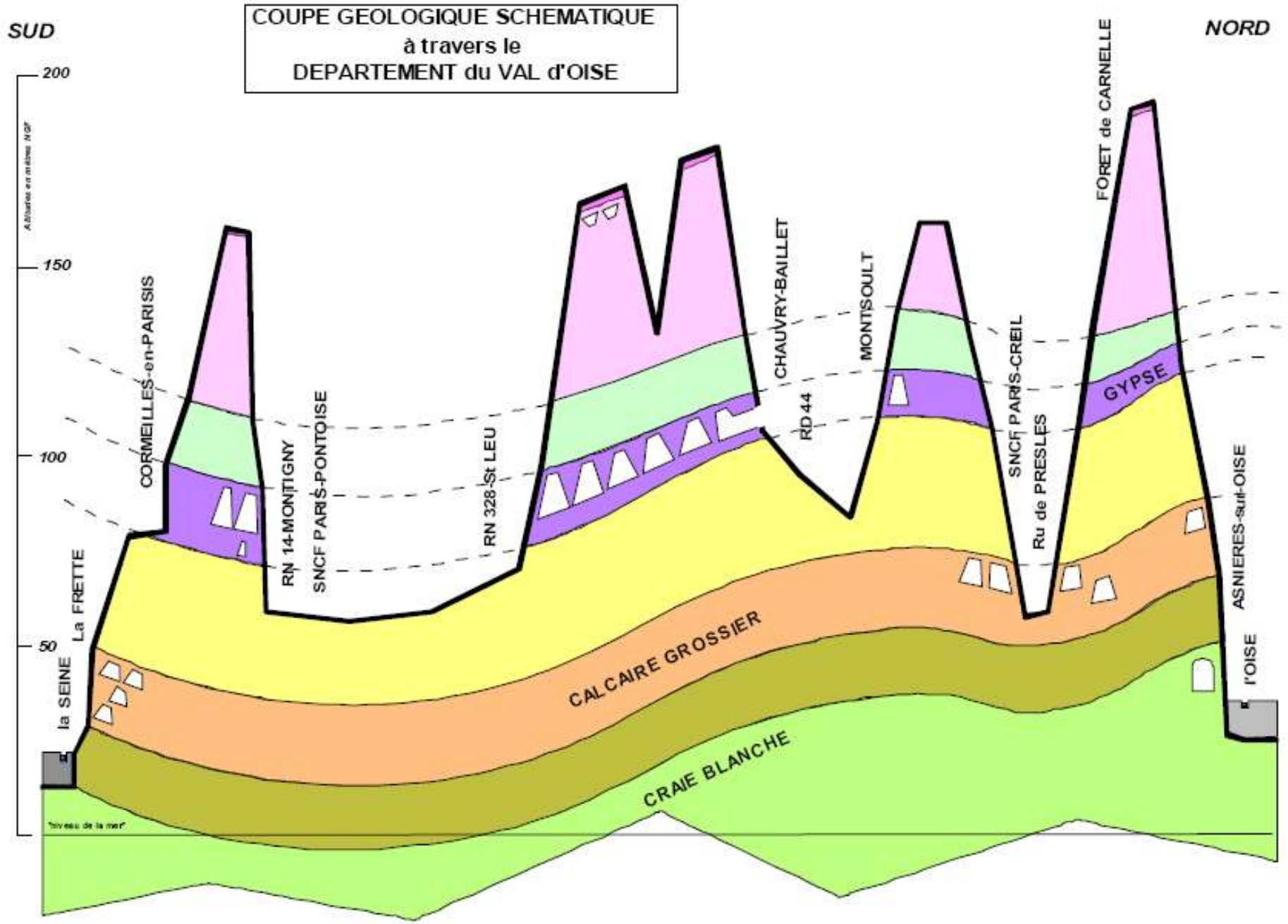
Aquifères parisiens



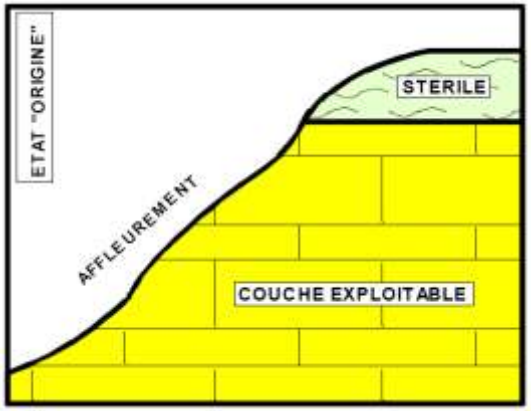
Coupe géologique schématique de Paris avec un ordre de grandeur des coefficients de perméabilité des différents horizons

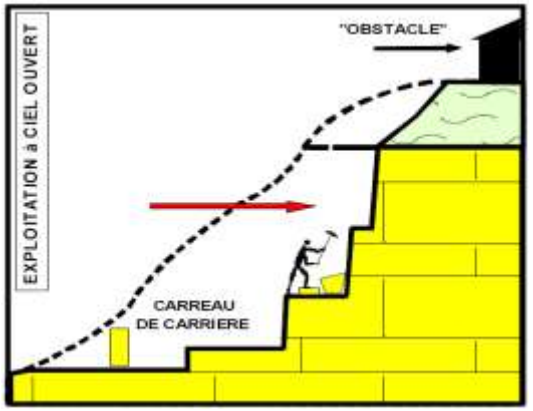
Carte géologique de Paris

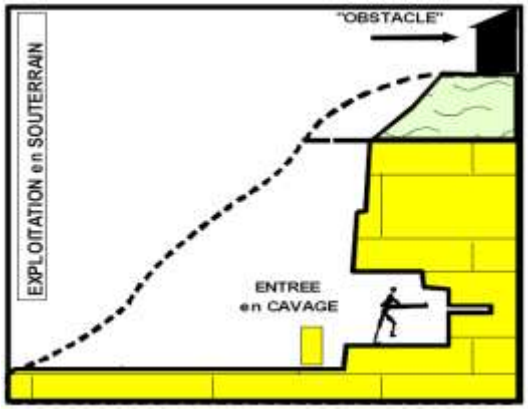


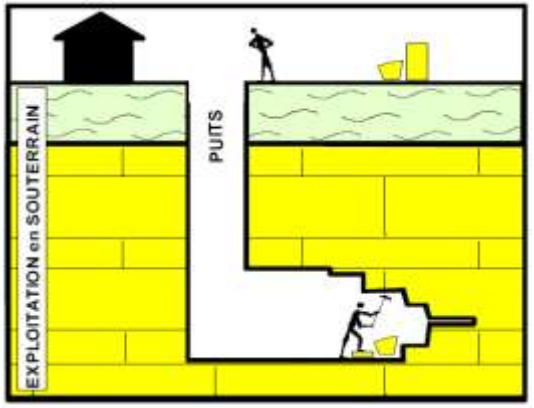

COUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE
à travers le
DEPARTEMENT du VAL d'OISE
SUD
NORD
200
150
100
50
Altitudes en mètres NGF
CORMEILLES-en-PARISIS
RN 14-MONTIGNY
SNCF PARIS-PONTOISE
RN 328-St LEU
CHAUVRY-BAILLET
RD 44
MONTSOULT
SNCF PARIS-CREIL
Ru de PRESLES
FORET de CARNELLE
ASNIERES-sur-OISE
l'OISE
la SEINE
La FRETTE
GYPSE
CALCAIRE GROSSIER
CRAIE BLANCHE
Niveau de la mer

Modes d’exploitation

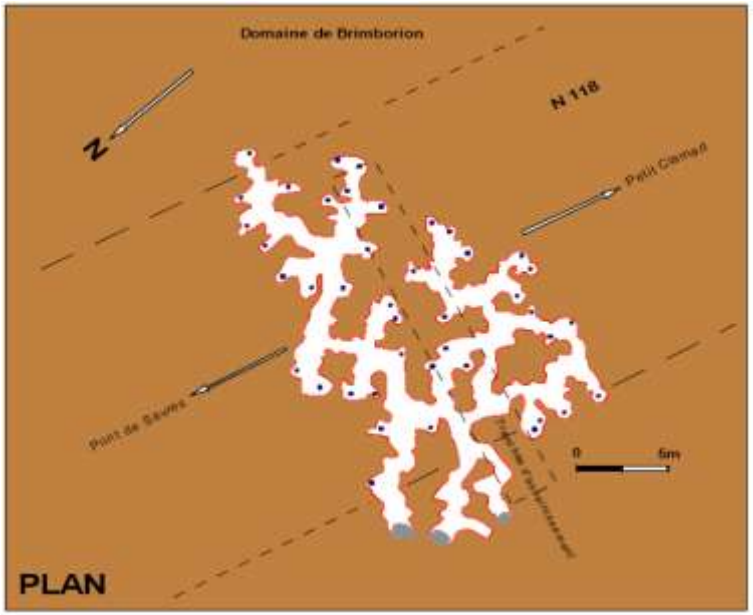


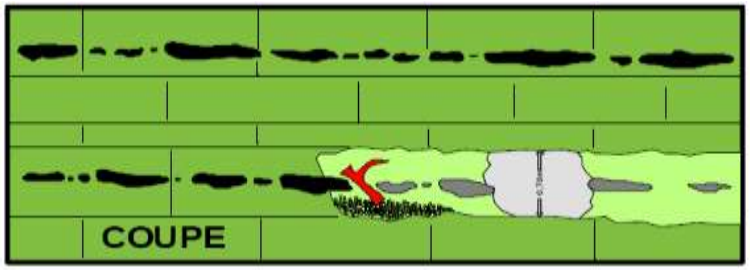




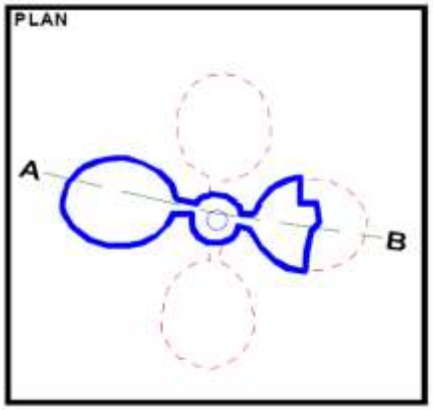


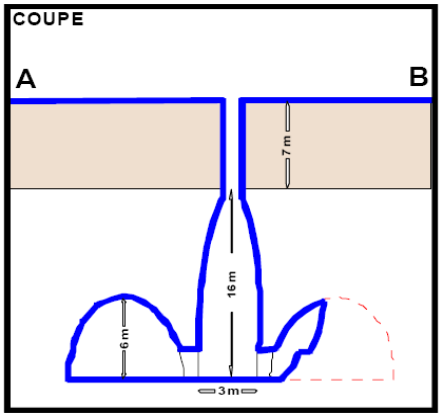
L’évolution des techniques dans le temps : au Néolithique

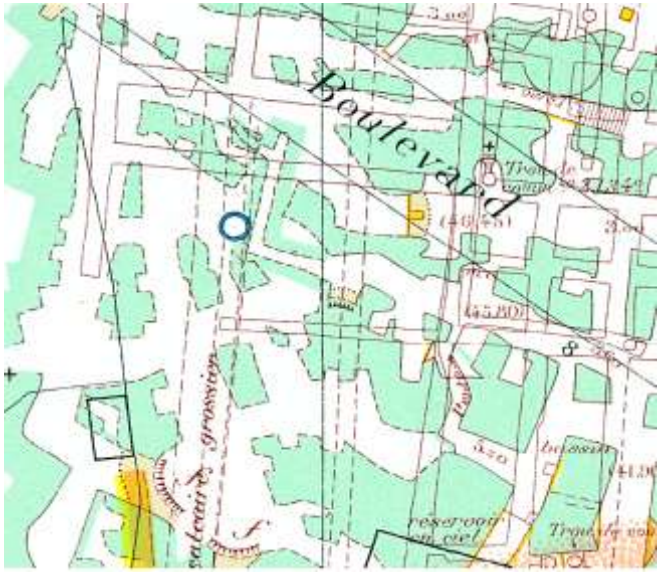


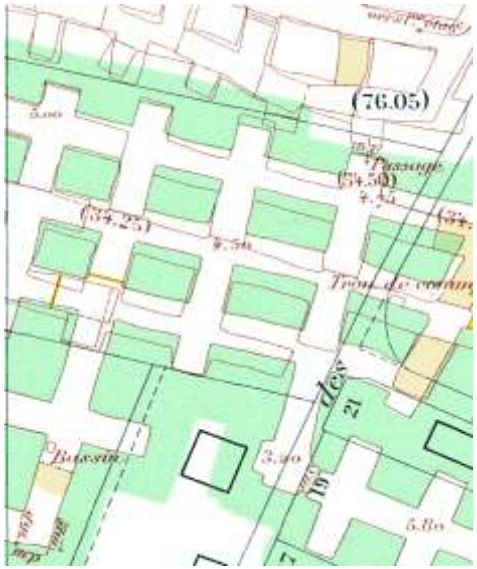


Du Moyen Age à aujourd'hui : évolution des schémas d'exploitation



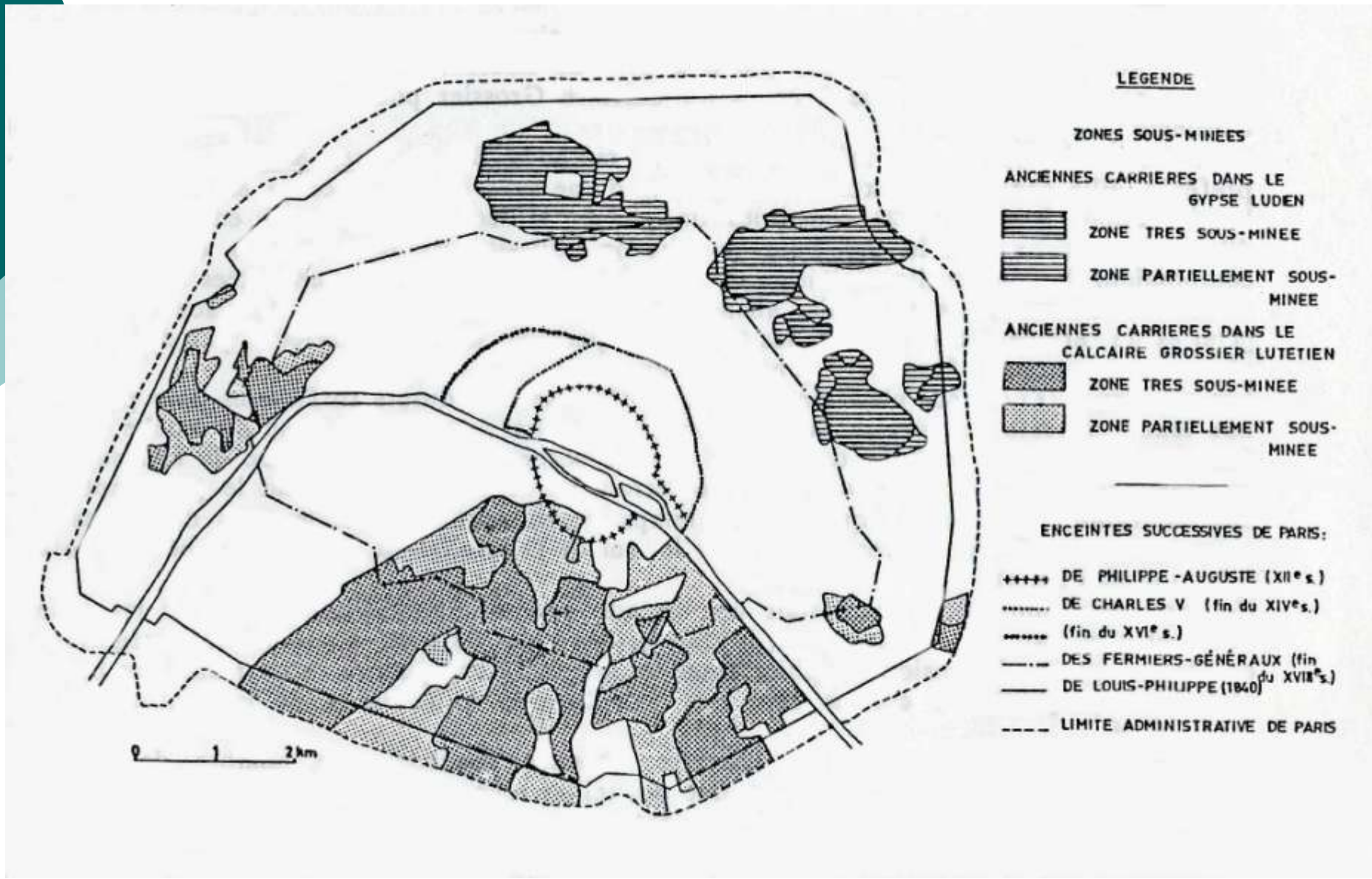






Évolution des matériels

L’histoire de Paris suit l’exploitation des matériaux



Les carrières vues d'aujourd'hui

Une grande diversité, liée aux modes d'exploitation et à la fin des exploitations

Les carrières à ciel ouvert

Les plus anciennes : à partir du Ier siècle

- Les matériaux qui affleurent sont exploités en priorité
- Exploitation par gradins droits successifs
- Fosses comblées à l'aide de matériaux divers (remblais)
- Reprises d'exploitations souterraines

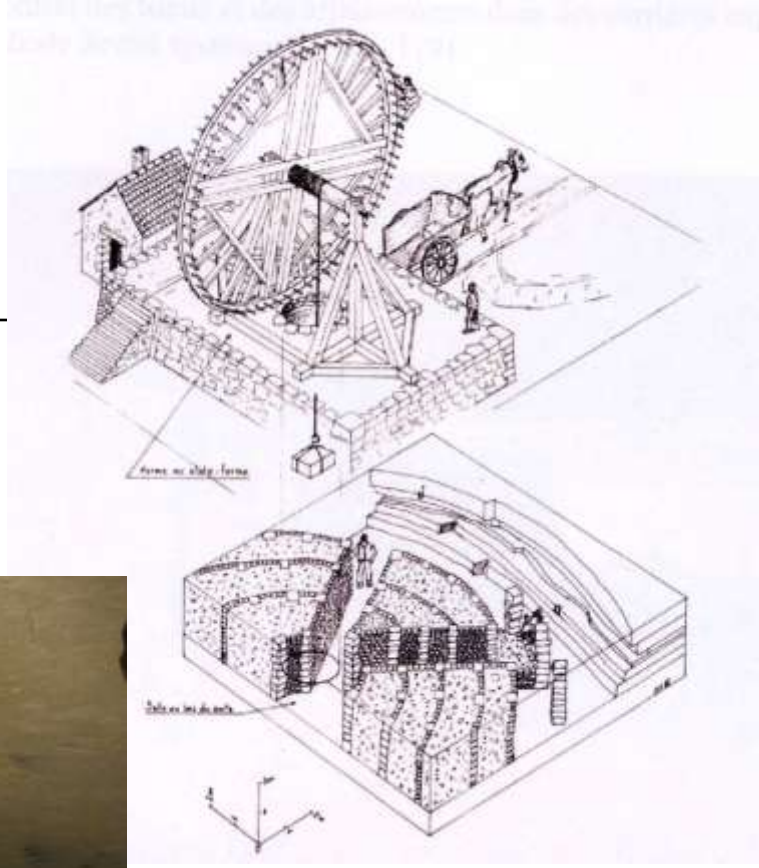
Les exploitations souterraines : calcaire grossier

Exploitation par piliers tournés (ou piliers abandonnés) :

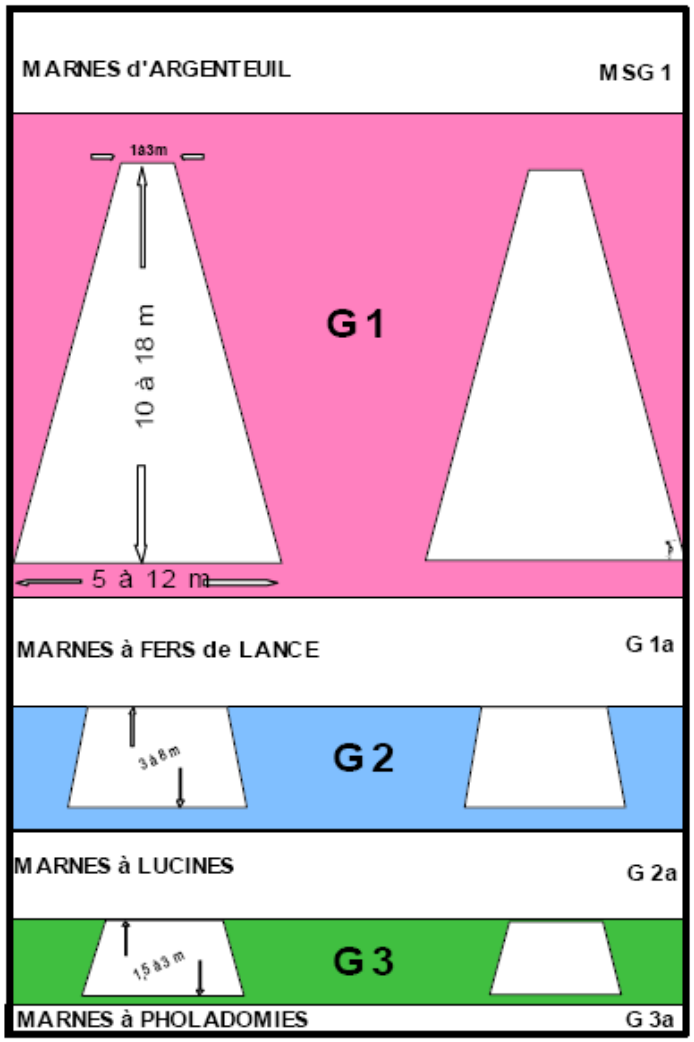
- Galeries creusées en laissant en place des masses de matériau inexploitées (les piliers) pour assurer la stabilité du ciel de carrière
- Taux de défruitement de 45% à 75 % (65% en majorité)
- Surtout à partir du XIIème siècle

Exploitation par hagues et bourrages :

- Méthode utilisée dès le XVIe siècle
- Exploitation de la totalité du matériau (Calcaire Grossier)
- Bourrage des vides par des remblais maintenus par des murs de pierres (hagues)
- Ciel conforté par des petits piliers (cales à bras)



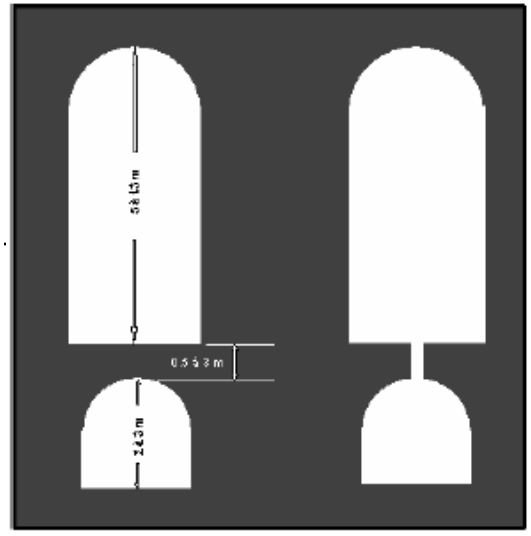
Carrières de gypse :



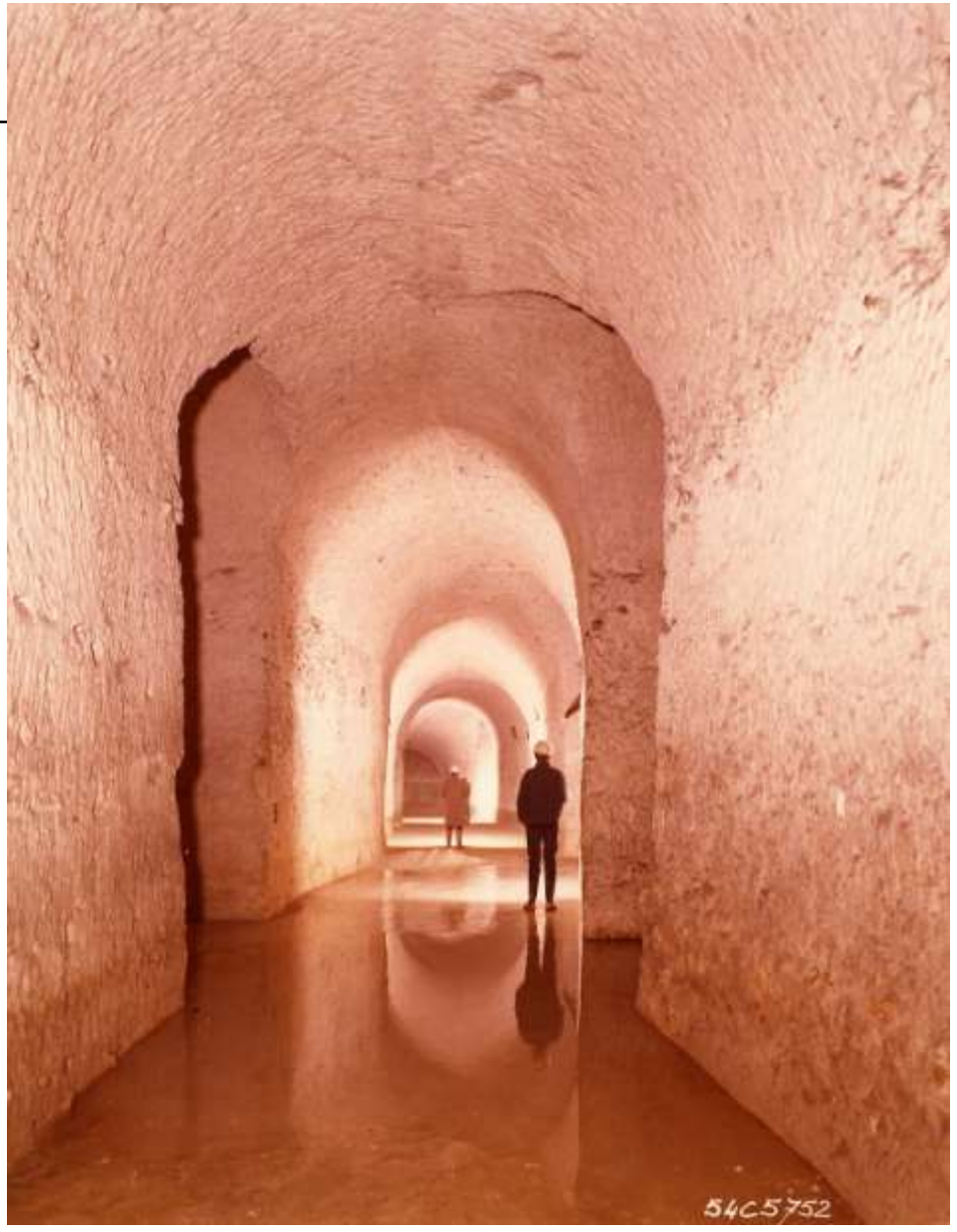
Est parisien (Paris, Aulnoy…)

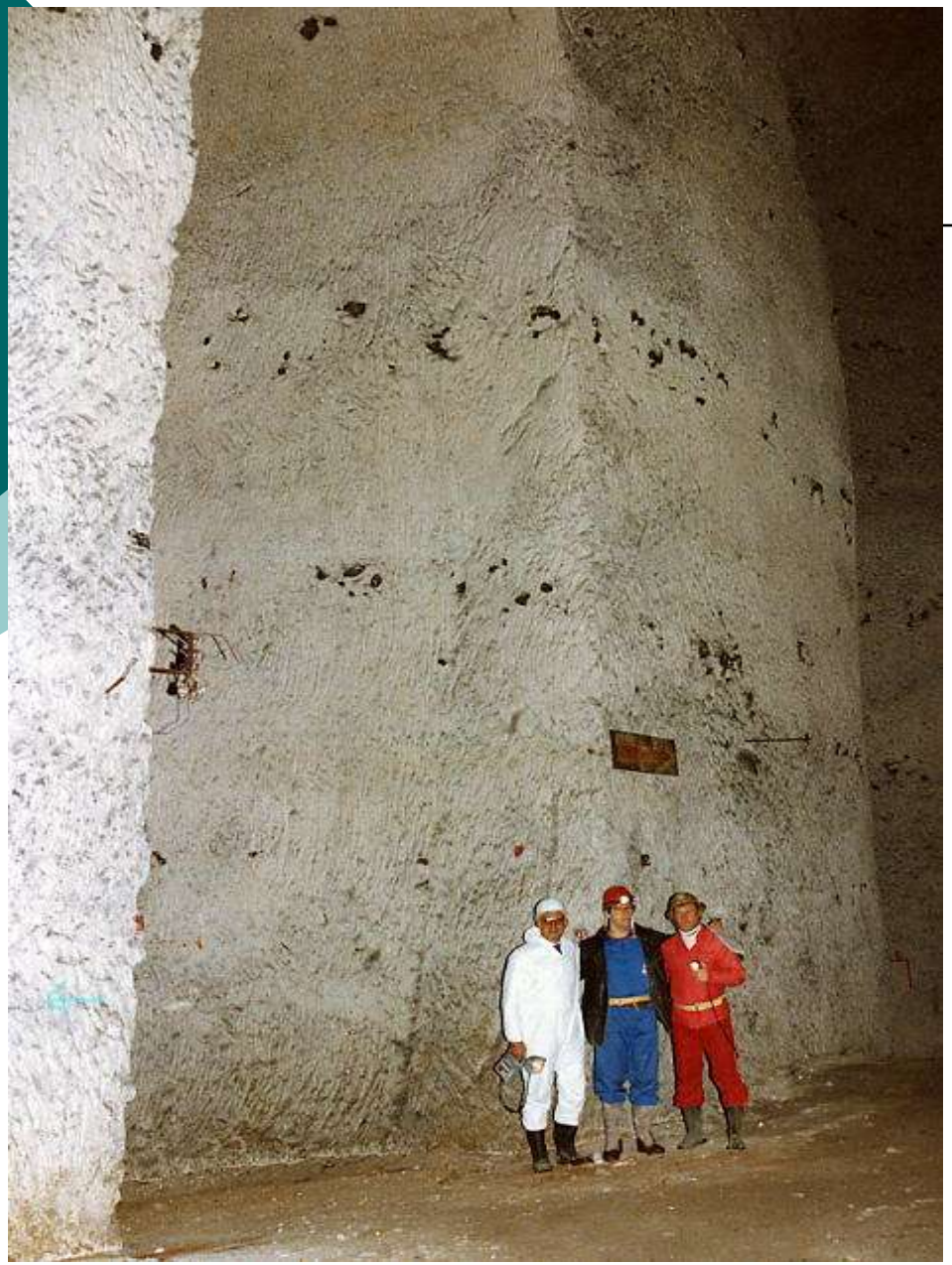
- Jusqu'à 4 étages, 3 superposés
- Vides de 18+6+3m au NE à 2m sur Meudon et 4 à 6m au Sud du 92

Carrières de craie



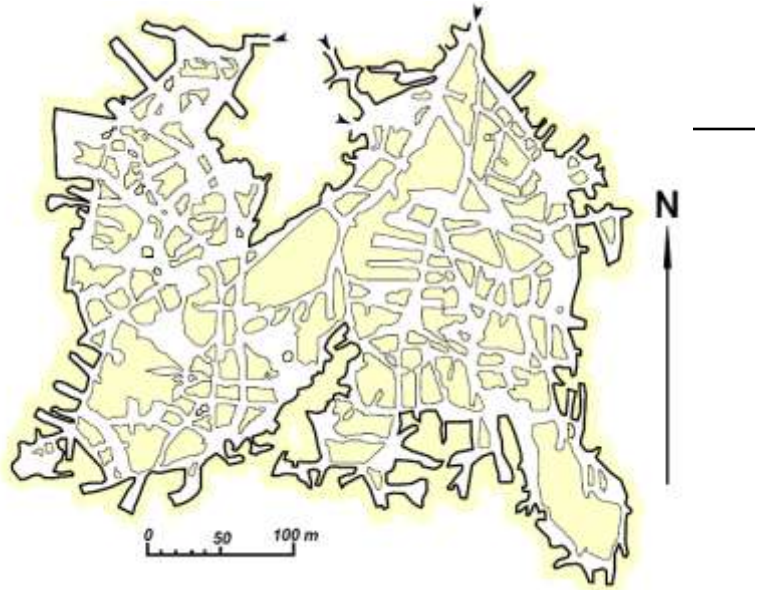
- Peut atteindre 12m, mais souvent étages de 3 à 6m
- Piliers tournés ou grandes galeries
- De 2 à 5 étages superposés
- Le 1er étage sert souvent d ’amenée d ’eau ou de réservoir pour le Blanc de Meudon
- Bancs de silex tous les 3m environ, qui changent de forme avec la profondeur
- Dégradations de la craie rarement visibles
- Grandes failles et karsts à Meudon

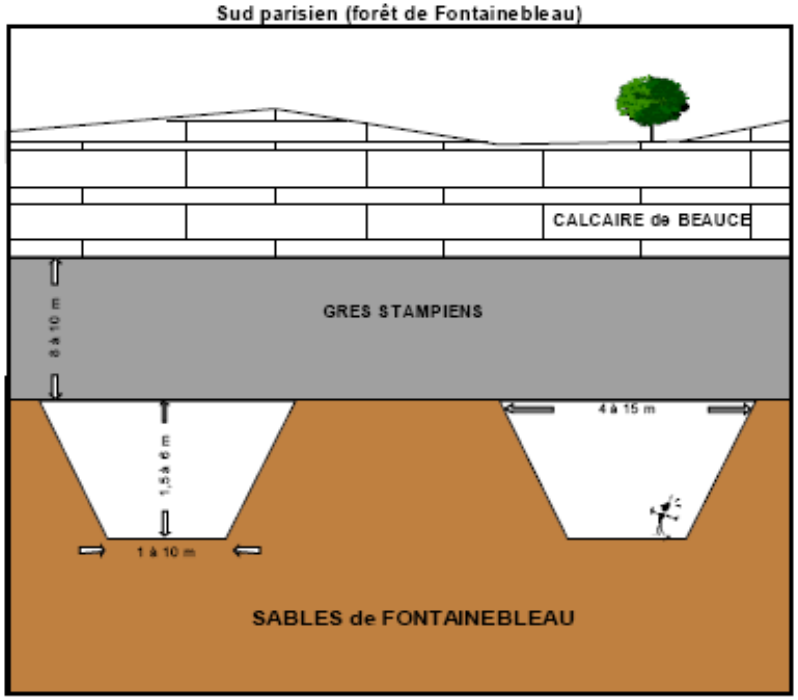




2005 2 4

Les carrières souterraines de Sables de Fontainebleau



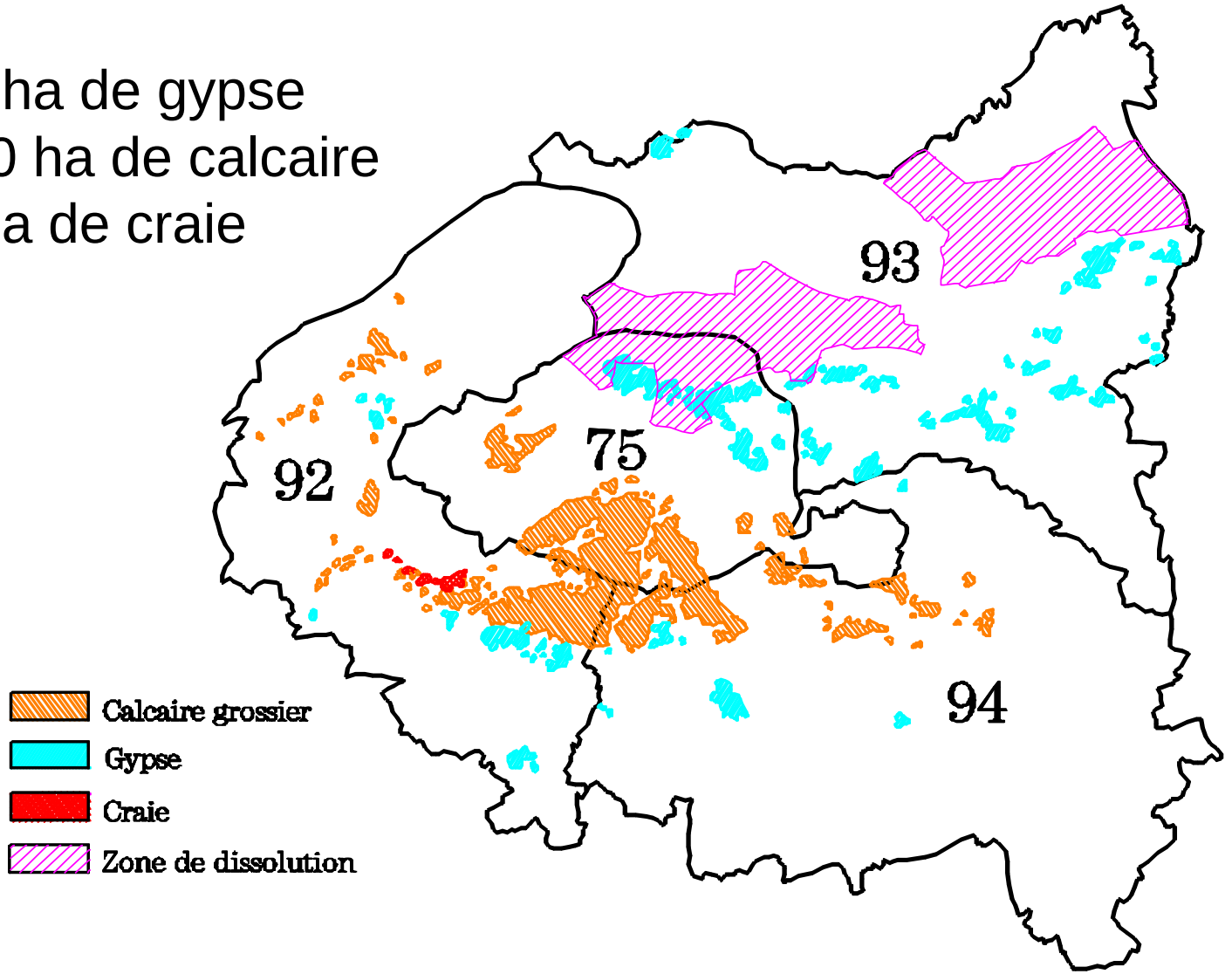


Autres matériaux exploités

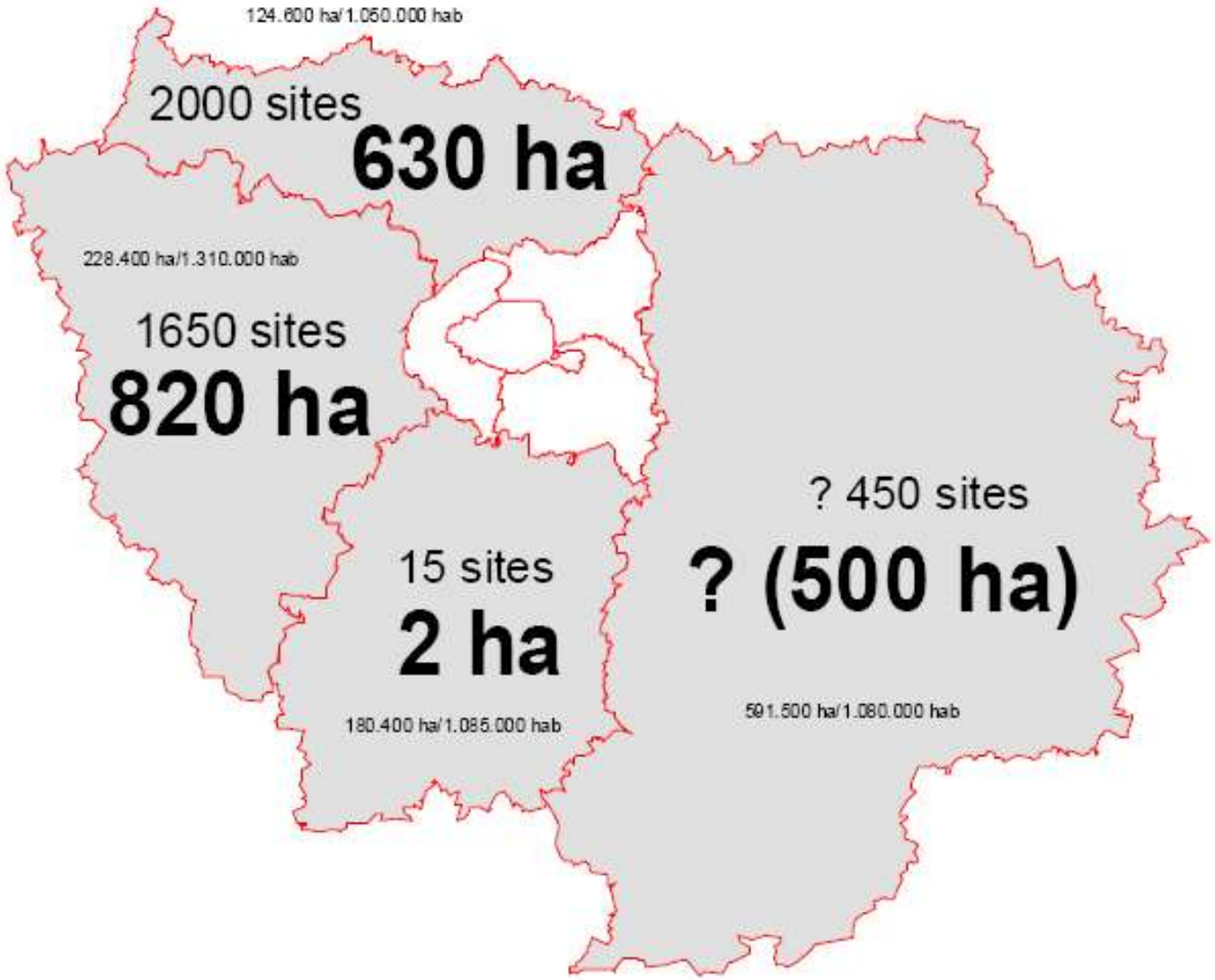
- **Argile plastique et Glaises Vertes** → **tuiles et briques**
- **Marnes et caillasses** → **empierrement des routes**
- **Sables de Beauchamp** → **fonderie, verrerie**
- **Sables et grès de Fontainebleau** → **fonderie, verrerie, pavés**

Paris et petite couronne (IGC75)

800 ha de gypse
2350 ha de calcaire
35 ha de craie



Grande couronne (IGC78, 91 et 95)



II. Les risques liés aux cavités souterraines en milieu urbain

La ville s'est installée au dessus des carrières qu'elle a créées.

Elle s'expose désormais à leur dégradation naturelle et inéluctable.

- Forte exposition des biens et des personnes : 2 millions de personnes en zone sous-minée
- Pression foncière importante
- Facteurs aggravant nombreux (réseaux d'eau, de chaleur, drainage des eaux de pluies …)

Risques liés à la dégradation des anciennes carrières à ciel ouvert

- **Tassement des remblais hétérogènes (flaches)**

- **Affouillement des remblais (vides créés)** ➔ *déclenchés par les fuites des réseaux d'eau, égouts, collecteurs et branchements particuliers, puisards, ...*

Conséquences : destructuration du bâti (fissures, fragilisation de la structure)

Risques liés à la dégradation des anciennes carrières souterraines

- Les affaissements, les effondrements localisés ou fontis :

➔ *Principal mode de dégradation d'une carrière souterraine*

➔ *Décollement des bancs du ciel de carrière (ciel tombé) à l'origine de la formation d'une cavité remontant vers la surface dont la forme rappelle celle d'une cloche*

➔ *le vide ne vient pas à jour, et peut provoquer un affaissement important par remontée des décompressions en surface*

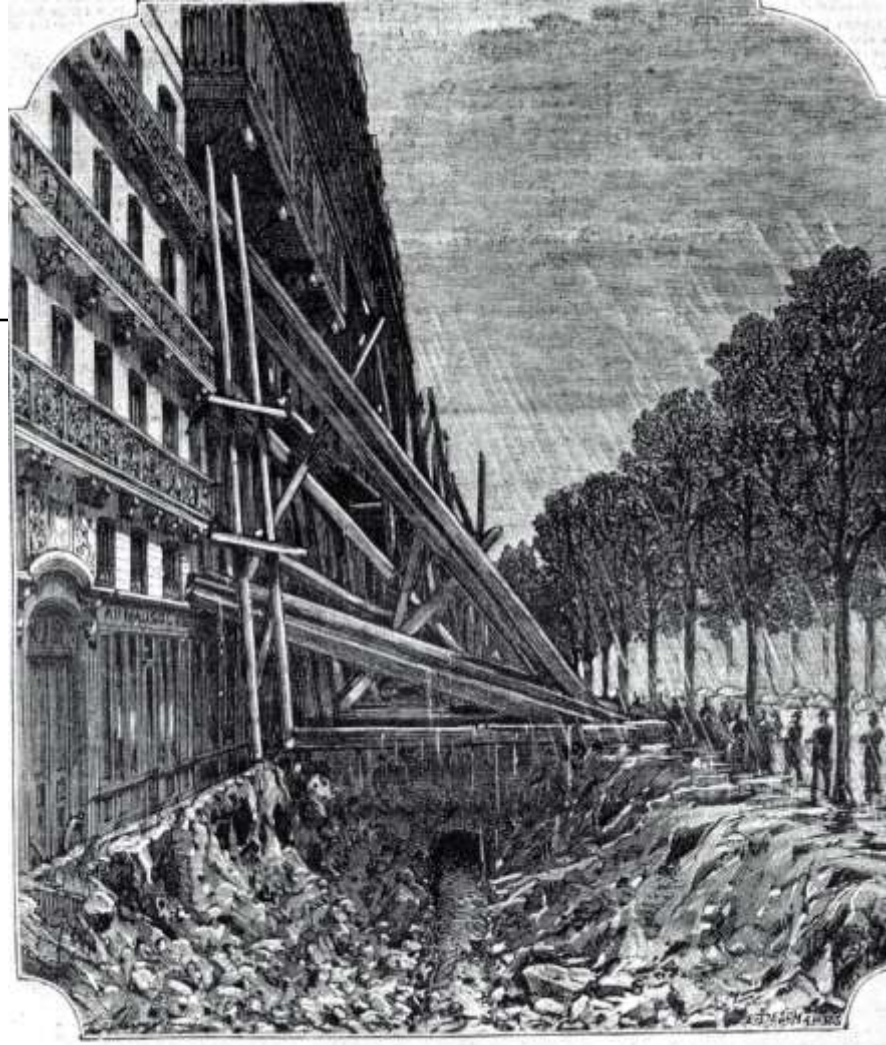
➔ *le vide vient à jour en remontant jusqu'à la surface et crée un vide de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres de diamètre,*

Conséquences : rupture du bâti ou de l'ouvrage, voire ruine

Affaissement sur voie publique

Saint Cloud

Chatillon



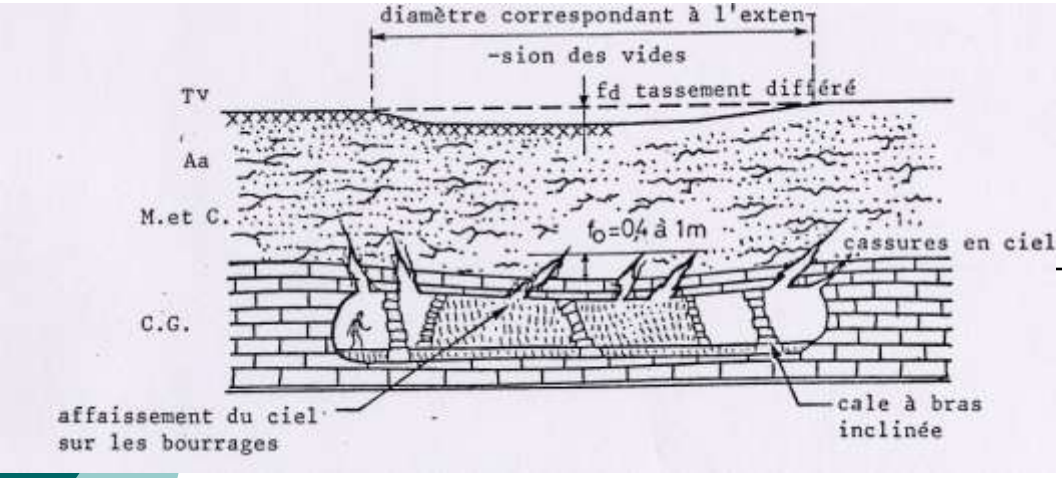
L'éboulement du boulevard Saint-Michel

1880

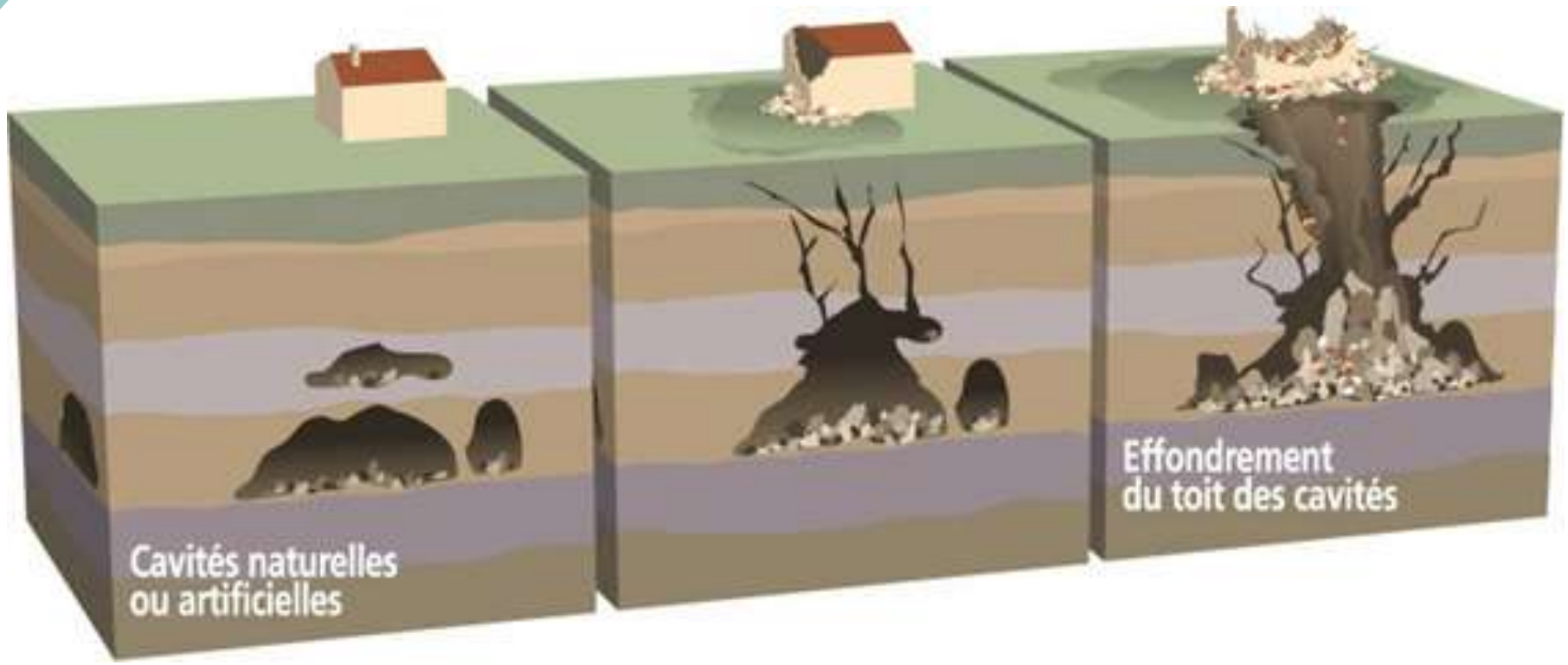
Fontis sous un pavillon

Fontis – carrière de gypse

Affaissement sur exploitation souterraine



Mécanisme du fontis



Les facteurs aggravants

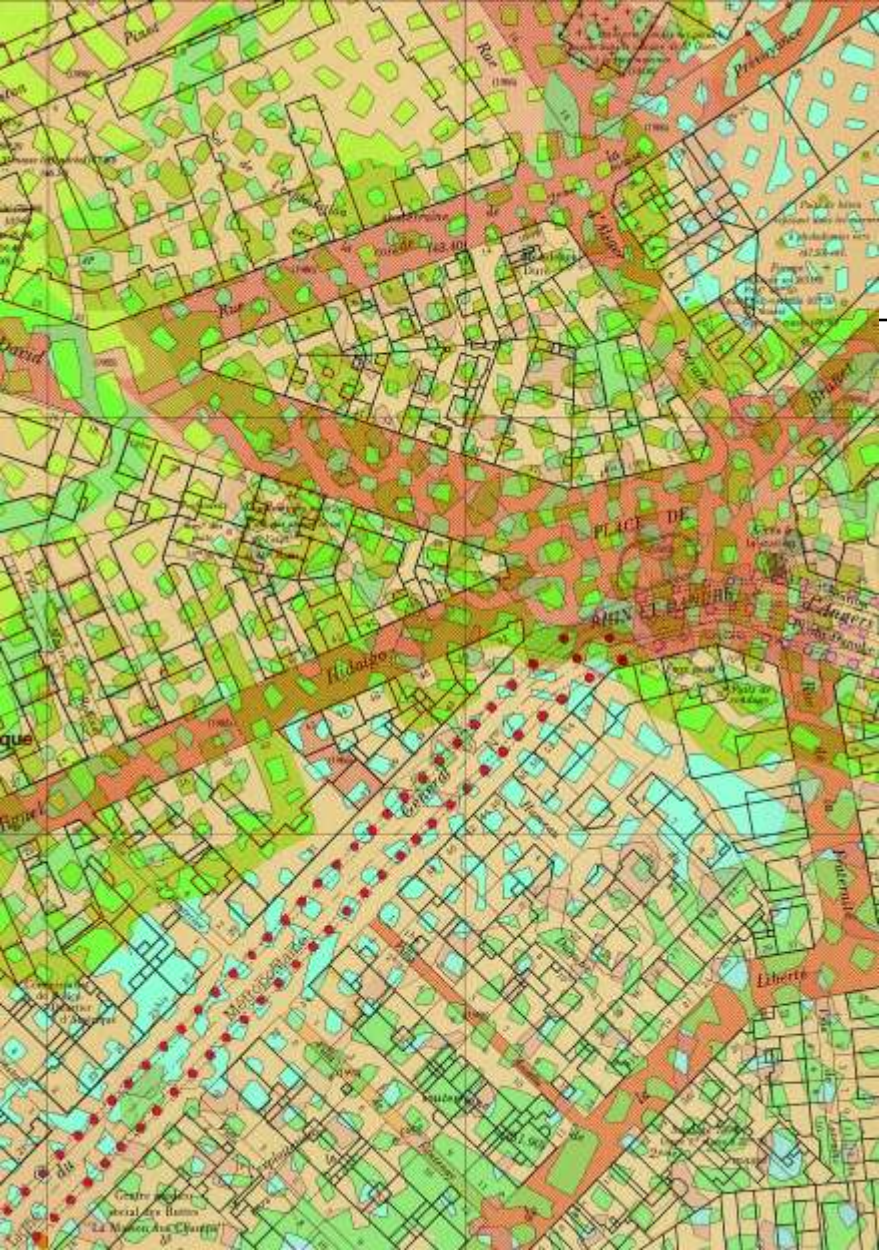
Influence des facteurs internes:

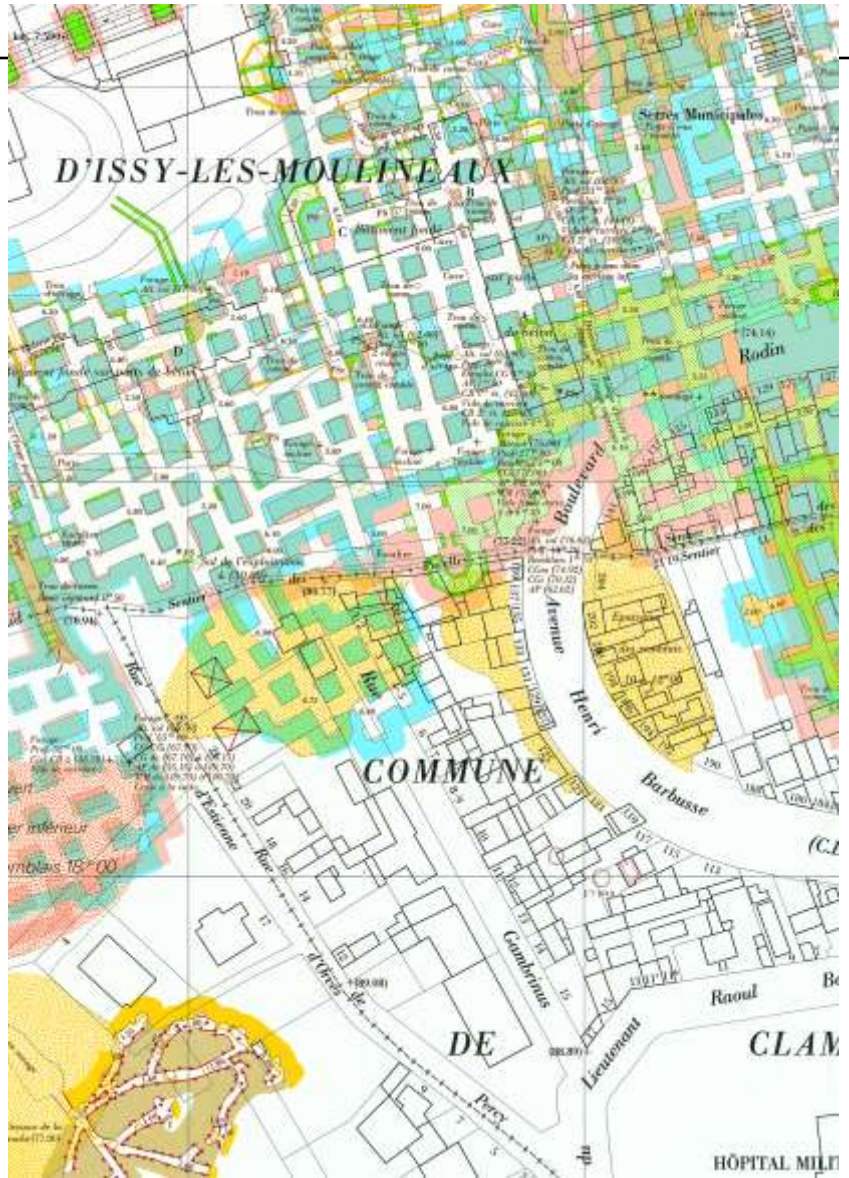
- Géométrie de l'étage : hauteur de recouvrement, épaisseur des bancs de toit et de pied (poinçonnement des piliers)
- Superposition aléatoire des piliers entre les étages.

Influence de facteurs externes :

- L'eau : variation de la teneur en eau des terrains de recouvrement, et dans le matériau, circulation d'eau (nappe, karst actifs ou non, fuites)
- La végétation
- L'activité humaine (circulation, construction, types d'assainissement)

Superposition d'étages





- karst
- faille - fontis

Venues d’eau dans un fontis et effet de la végétation

Événements historiques

Accidents autour des voies publiques causés par l'effondrement d'anciennes carrières :

- Accident de la rue d'Enfer le 17 décembre 1774 : 7 fontis successifs
- Effondrement du boulevard Saint-Michel le 29 avril 1777 : fontis de 21 m de profondeur

ARRÊT
DU CONSEIL D'ÉTAT
DU ROI,

Portant Commission à M. le Lieutenant général de Police, & à M. le Comte d'Angiviller, pour veiller à la suite des opérations qu'exige l'état actuel des Carrières des environs de Paris.

Du 4 Avril 1777.

Extrait des Registres du Conseil d'État.

LE ROI s'étant fait rendre compte, en son Conseil, de l'état actuel des Carrières, fouilles de terre, de caves & autres souterrains sous la voie publique, dans Paris & plaines adjacentes, dont la visite a été faite par le sieur Dupont, Ingénieur, commis par arrêt de son Conseil du 15 septembre 1776; Sa Majesté s'étant aussi fait représenter les plans levés desdites fouilles & Carrières, ensemble les procès-verbaux de visites des Carrières sous l'aqueduc d'Arcueil, faits par les sieurs Brebion & Guillaumot, en vertu de l'ordre du sieur Comte d'Angiviller, Directeur de ses bâtimens : Et Sa Majesté voulant prendre des mesures qui, dégagées des formes

➔ Création de l'IGC Paris

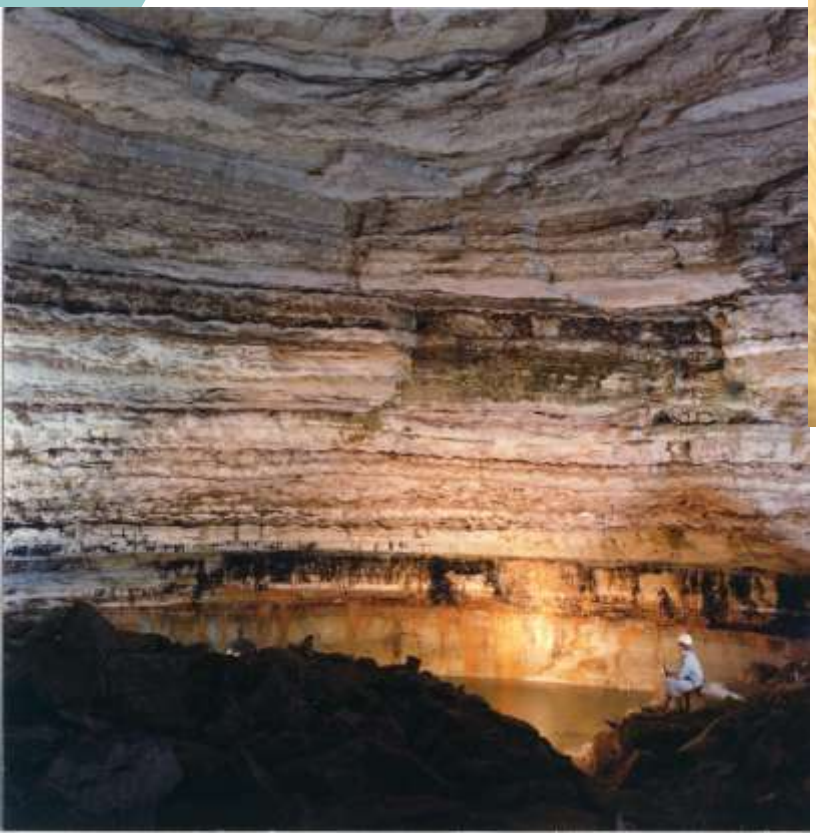
Effondrement généralisé – Clamart 1961

➔ Création de l'IGC 78, 91 et 95

Cavités naturelles en Île-de-France : la dissolution du gypse

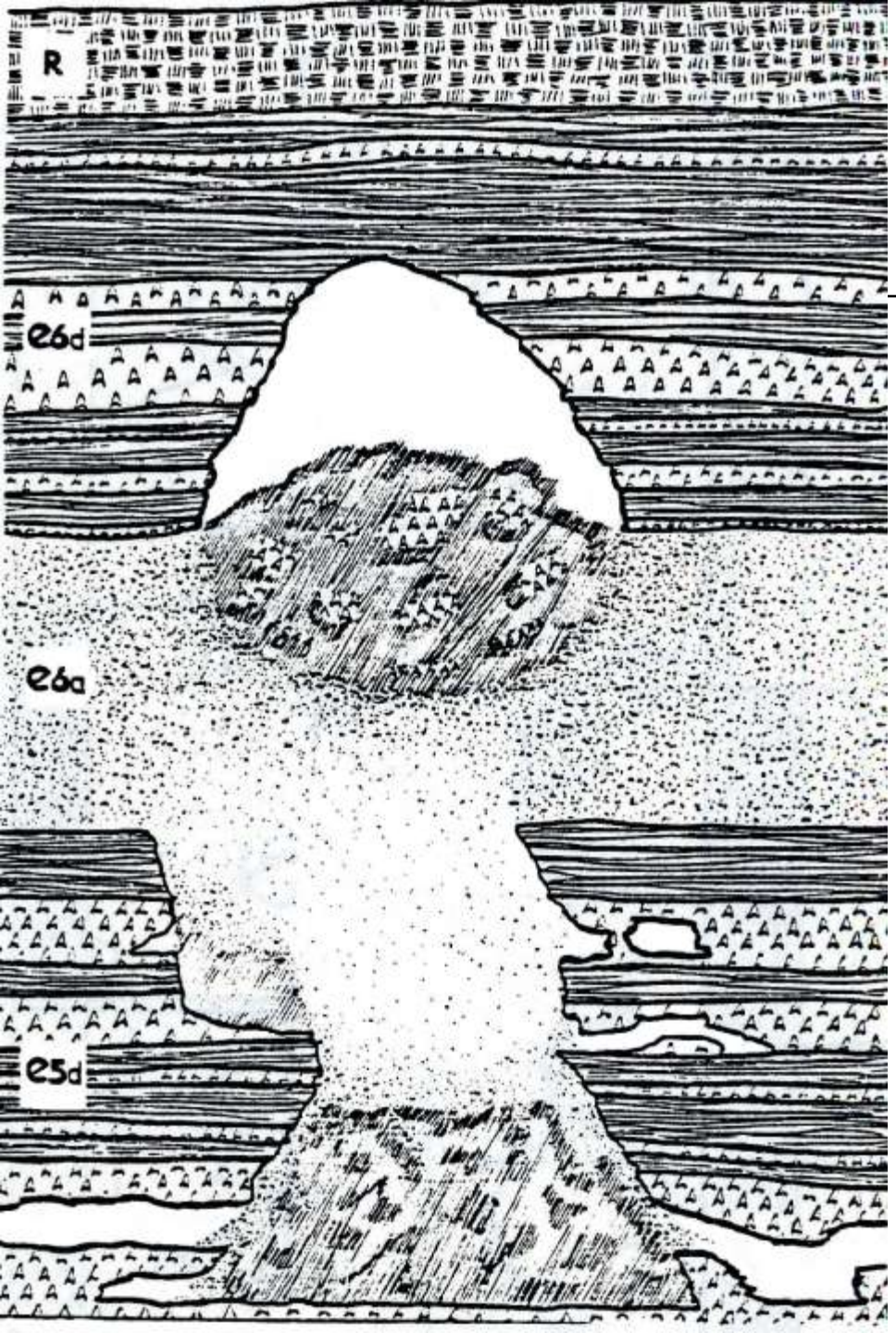
Ludien

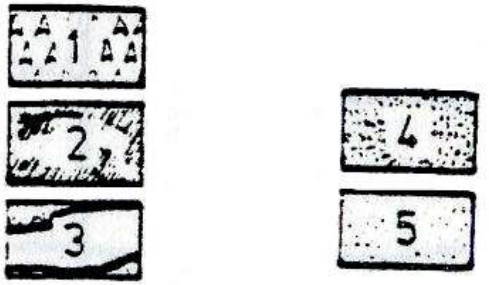
Ante ludien



➔ Définition d’une nouvelle zone réglementaire

Coupe sous Gare du Nord





Dissolution ante ludienne

Les missions de l'IGC de Paris et de la petite couronne

- Connaissance du risque
- Information du public
- Surveillance
- Mitigation du risque lié aux cavités

Connaissance du risque

Compréhension des phénomènes

- Études géologiques, hydrogéologiques

Identification des zones à risques

- Campagne d'investigations géotechniques

Collecte et conservation des données

- Cartes géologiques
- Bases de données (dissolution du gypse, incidents)
- Suivi des niveaux piézométriques
- Atlas des cartes des carrières (458 cartes au 1000ème)

Information du public

Accueil du public 3 demi-journées par semaine

- 3 200 renseignements oraux fournis chaque année

Réponse aux demandes de renseignements écrits

- 100 000 renseignements fournis chaque année

Instruction des demandes des concessionnaires

- 2 200 avis rendus en 2008

Vente de cartes

- 1 000 cartes vendues chaque année

Réunion publique dans les communes

Déplacement sur incident et conseil au propriétaire

- 100 interventions par an

Surveillance : 300km de galeries

1er cas – **carrière visitable** car confortée par cloutage, boulonnage du toit, voûtes, maçonneries, visuel, mesures, peinture

2ème cas – **carrière inaccessible** : sondages et si galeries rectilignes vides, forages conservés avec passages caméra réguliers

3ème cas – **secteur de dissolution du gypse ante ludien**, sondages et forages conservés avec passage de sonde Gamma Ray régulier

4ème cas – **cavité sous eau**, passage d'un sonar qui donne le volume de la cavité.

Mitigation du risque

Possibilité de traiter le risque à la parcelle

- Consolidation de la carrière par injection
- Consolidation par piliers maçonnés
- Réalisation de fondations spéciales, adaptées au projet de construction ou d'aménagement

Définition des règles de l'art => 4 notices techniques

Réalisation de consolidations du domaine public

Avis de l'IGC lors de l'instruction des PC : 2000/an

- Prescription ou recommandation de travaux (en application d'arrêtés préfectoraux et des PPR)

Choix de la confortation

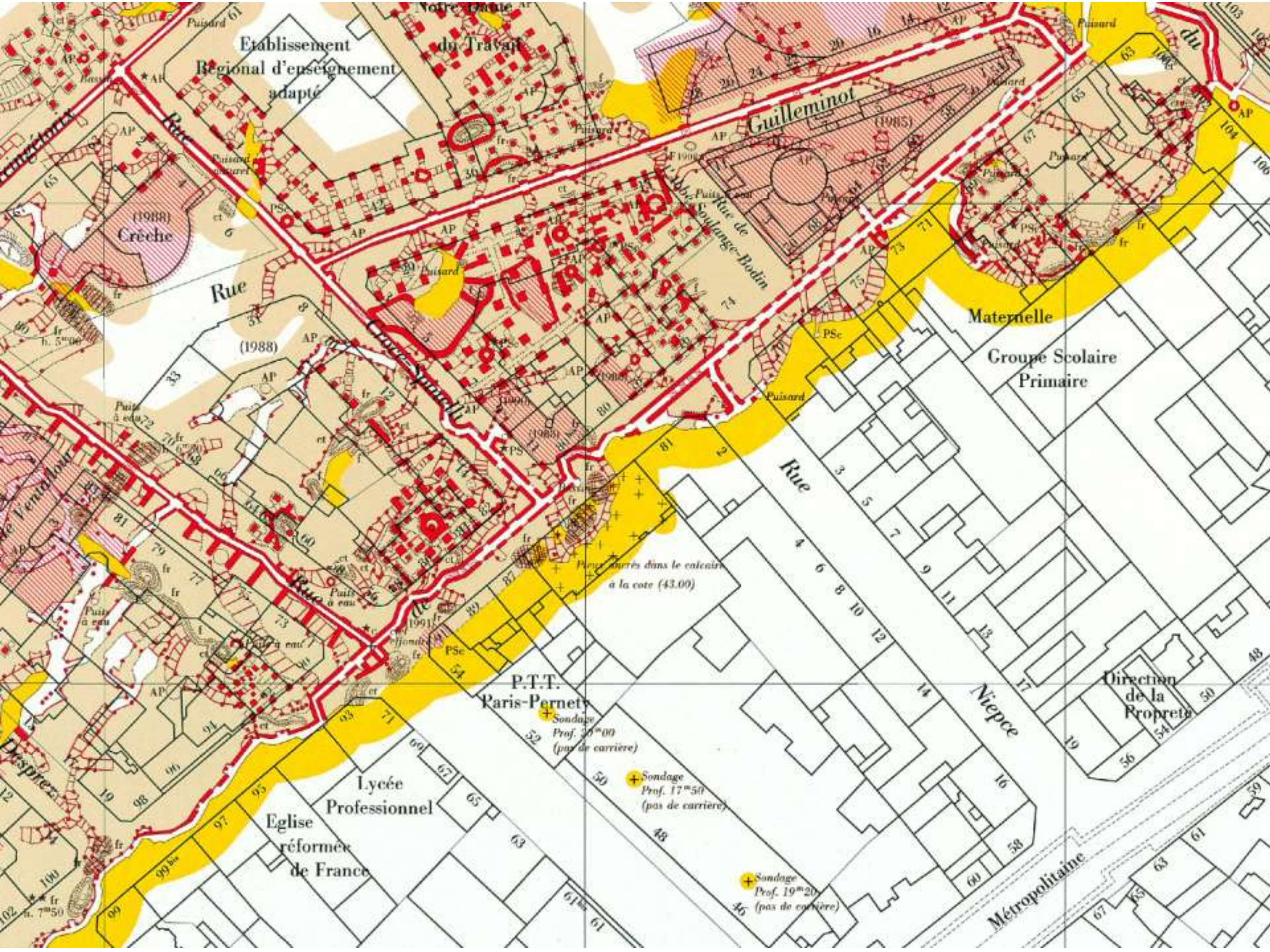
Les techniques de prévention passives : visent à protéger la construction ou sa fondation des dégradations dues à l'évolution de la carrière

- Superficielles : radiers, longrines
- Profondes : pieux forés ou puits de béton

➪ **réduire l'impact en surface**

Les techniques de prévention actives : consistent à intervenir dans la cavité pour éviter son effondrement (piliers maçonnés, boulonnage ou injections en carrière)

➪ **réduire la probabilité de survenance**

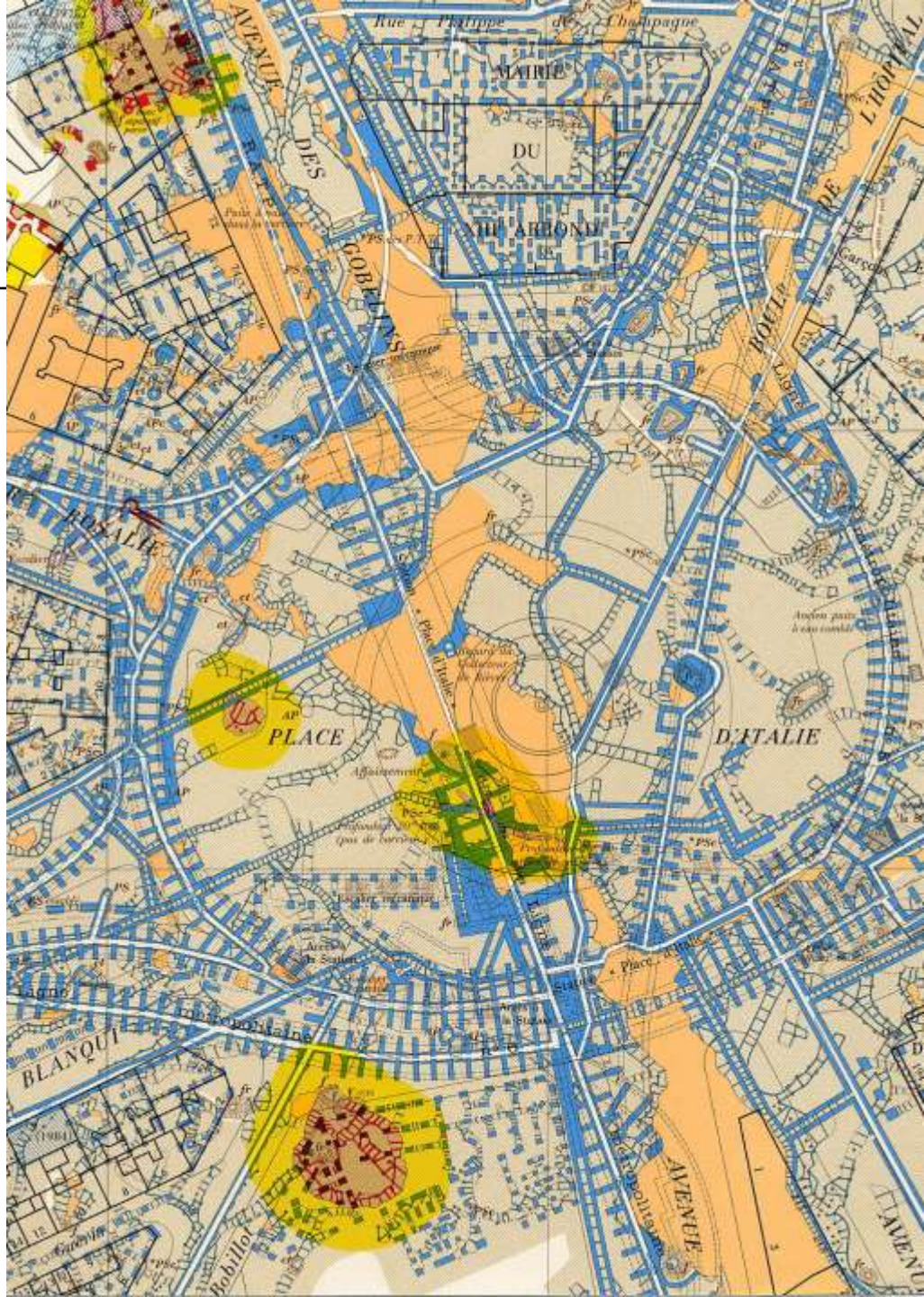


Etablissement
Régional d'enseignement
adapté
du Travail
Guilleminot
(1985)
(1988)
Crèche
Rue
Croce-Spinelli
Rue de l'Abbé Soulange-Bodin
Maternelle
Groupe Scolaire
Primaire
Rue
Niepce
Pieux ancrés dans le calcaire
à la cote (43.00)
P.T.T.
Paris-Pernety
Sondage
Prof. 20m00
(pas de carrière)
Sondage
Prof. 17m50
(pas de carrière)
Sondage
Prof. 19m20
(pas de carrière)
Lycée
Professionnel
Eglise
réformée
de France
Direction
de la
Propreté
Métropolitaine
Puisard
Puits à eau

Exemple de piliers maçonnés sous un bâtiment neuf

Consolidation traditionnelle par maçonneries

Carrière de Calcaire Grossier



Fontis et chantier d'injection

carrière partiellement vide

Un dispositif de prévention complet …

… à l'exception du bâti privé existant.

Comment mitiger le risque sur des parcelles sous-minées et non soumises à autorisation d'urbanisme ?

III. Les évolutions récente de la prévention des risques naturels

Qui est responsable des anciennes carrières ?

Art 552 du Code Civil : « La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous. »

- Ni l'ancien exploitant
- Ni la collectivité ni l'État

C'est au propriétaire de prendre toute les mesures nécessaires de mise en sécurité de sa parcelle.

- Niveau d'information
- Incidence financière

Cadre législatif

Article R111-3 du code de l'urbanisme : définition de zones de risques – application exclusive au droit des sols (avis sur PC) – 7 juillet 1982 – abrogé

Loi du 22 juillet 1987 : **PER** établis par l'État ayant valeur de servitude d 'utilité publique

Massif de l'Hautil - 78

modifiée par la **Loi** relative au renforcement de la protection de l 'environnement (**Barnier**) du 2 février 1995, devenue Art. L561 et L562 du Code de l 'Environnement

Loi Démocratie de Proximité du 28 octobre 2002, Art. 159 modifiant l 'Art L561 du CE

Loi Risques 30 juillet 2003, Art. 43 et 61

Concrètement

Obligation de délimitation des zones de risque par commune : les PPRN (plan de prévention des risques)

Obligation d'informer Maire et Préfet

Inventaire des communes par État et information (DDRM - DICRIM)

Indemnisation CATNAT

Expropriation

Financement par FPRNM (alinéa VI):

- Opérations de reconnaissance
- Acquisitions amiables
- Traitement ou comblement si coût < à expropriation
- Financement à hauteur de 30%

Plans de prévention des Risques Naturels

Délimite les zones à risques et peut interdire toute construction ou subordonner leur réalisation à des prescriptions

Délimite les zones où les constructions peuvent aggraver ou créer un risque

Définit les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde

Peut prescrire des mesures sur l'existant dans les zones à risque

- Carrières souterraines vides, très hautes, parfois étages superposés, matériaux solubles : aléa très fort, sauf sous fort recouvrement donc inconstructible

- Carrière remblayée : aléa fort = prescriptions obligatoires

- Carrière consolidée : aléa faible

- Situation intermédiaire : aléa modéré : prescriptions au cas par cas ou dispositions particulières

- Carrière à ciel ouvert : aléa fort

direction
départementale
de l'équipement
de Seine-Saint-Denis

Préfecture de Seine-Saint-Denis

Plan de Prévention des Risques liés aux anciennes carrières

CARTE REGLEMENTAIRE

COMMUNE DE GAGNY

ZONE TRÈS EXPOSÉE
INCONSTRUCTIBLE EN L'ÉTAT

ZONES MOYENNEMENT EXPOSÉES
DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES
GARANTISSANT LA STABILITÉ À PRÉVOIR

Limite communale

Sources

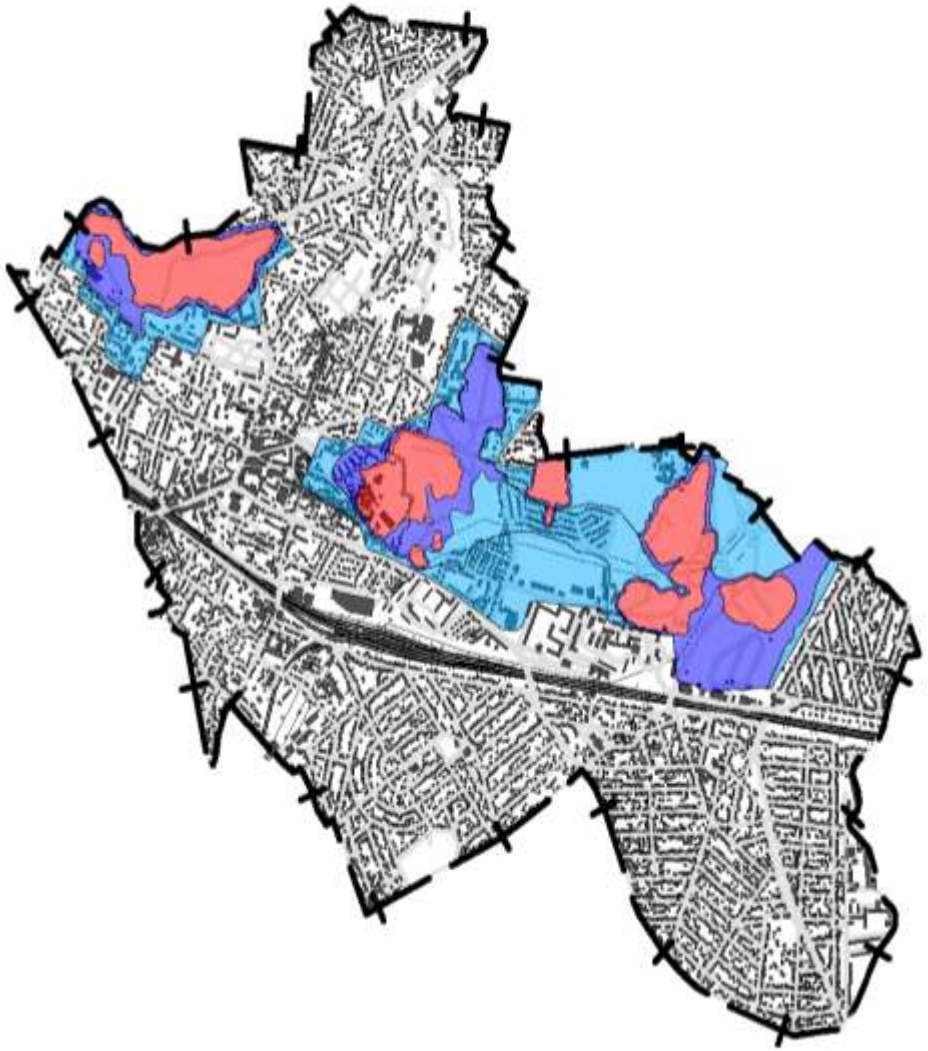
Aléas - DDE 93 et IGC
BD Topo Pays - © ® IGN 2002

Réalisation : DDE 93

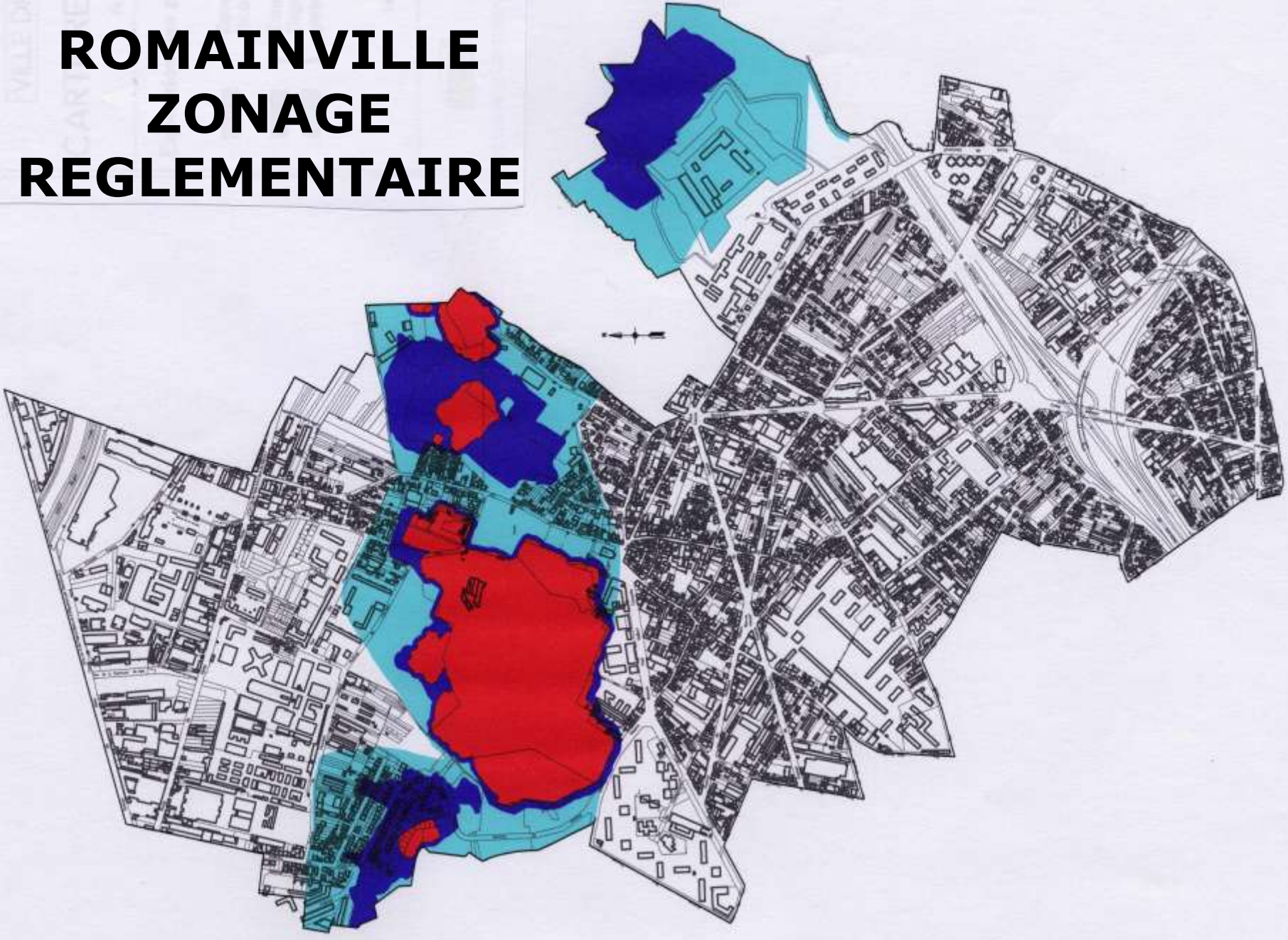
N Ech : 1/20000

N.B. Cette carte, à l'échelle du 1/20000, permet d'identifier les zones réglementaires du plan de prévention des risques liés aux anciennes carrières.

Cependant, la cartographie de référence a été réalisée à l'échelle du 1/5000.
Il s'agit de la carte réglementaire du PPR approuvé le 4 juillet 2002 qui doit être consultée pour toute localisation plus précise.



ROMAINVILLE
ZONAGE
REGLEMENTAIRE



Dispositions réglementaires types

Pour tous : réduction des phénomènes aggravant (surveillance des raccordements de réseaux d'eau, …)

Pour les constructions futures : inconstructibilité ou dispositions particulières

Pour l'existant : réalisation d'études de reconnaissance, éventuellement de travaux, procédure d'arrêté de péril en cas de fontis (jusqu'à expropriation), …

La plu value du dispositif PPRN - FPRNM

Une information **synthétique** (récapitulant l'ensemble de la connaissance acquise) et **homogène** sur les risques

Prise en compte de l'**existant**

Une aide financière aux études, travaux, expropriations

L'information et la responsabilisation des propriétaires incite à la réalisation des travaux (via l'incidence sur la valeur foncière, les sanctions pénales, …) ?

Les limites d'une prévention planifiée

Le zonage ne tient pas compte des informations « à la parcelle »

Un PPRN est un instrument lourd (élaboration et instruction sur plusieurs années) : on fige les règles d'occupation des sols pour longtemps

Est-ce que les risques restent au centre du débat face aux autres enjeux des territoires ?

Peu de moyen de contrôle du respect des dispositions prescriptives – notamment sur l'existant

Les PPRN ne s'intéressent pas aux règles de l'art en matière de travaux ou d'études : le citoyen est seul face aux professionnels

On ne peut prescrire de travaux qu'à hauteur de 10% de la valeur du bien, ce qui se révèle rarement le cas

Conclusion

La prévention des risques liés aux cavités souterraines

Ancienne

En pleine modernisation

Les cavités souterraines

Invisibles et imprévisibles

Coûteuses

Passionnelles

FIN

Merci de votre attention