



La zone minière du Laurion (Attique méridionale). Une approche géoarchéologique

La ville de Laurion se trouve dans le secteur méridional de la péninsule de l'Attique, à une distance de 75 km environ au sud-est d'Athènes. L'ensemble de la région minière, de quelque 200 km², est désigné sous le nom de Lavreotiki. Il constitue un système de petites collines clairement identifié qui s'étend sur 17 km au nord du cap Sounion, en terrain sec et accidenté.

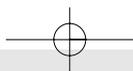
La région du Laurion a été habitée depuis le Néolithique et la période minoenne. Les témoignages les plus anciens et indiscutables sur la production d'argent sont des pièces de litharge qui ont été découvertes à Thorikos (colline Velatouri), datées même antérieurement au XIV^e siècle av. J.-C. Pendant la tyrannie de Pisistrate (VI^e siècle av. J.-C.), la production avait graduellement augmenté pour atteindre son essor au V^e siècle av. J.-C.

On y trouve trois unités lithostratigraphiques principales : l'unité géotectonique inférieure de l'Attique, relativement autochtone, qui est formée de schistes et de marbres ; l'unité allochtone du système "phyllitique", et la séquence de

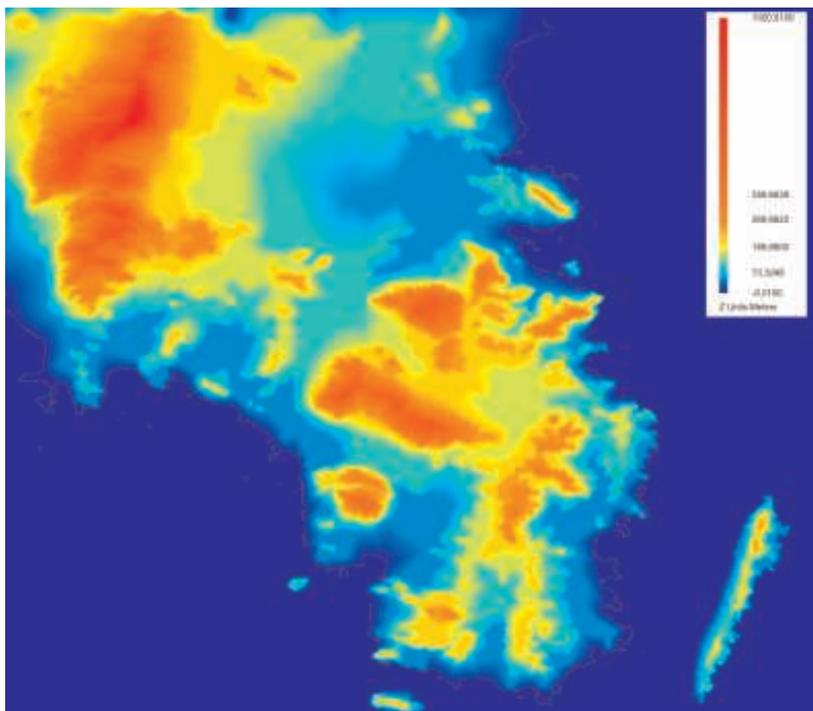
formation du Tertiaire et du Quaternaire, discordante par rapport aux deux premières unités. Outre l'extension de ces unités principales, une pénétration de granite (la granodiorite du Miocène) apparaît dans le secteur du Laurion et dans la Plaine de Paleokamariza.

Les dépôts métallifères du Laurion se sont surtout formés entre les contacts du marbre et des schistes. Les premier et troisième contacts se sont avérés les niveaux les plus riches en minerai. Les mineurs étaient essentiellement intéressés par les minéraux argentifères : galène et cérusite.

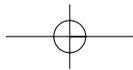
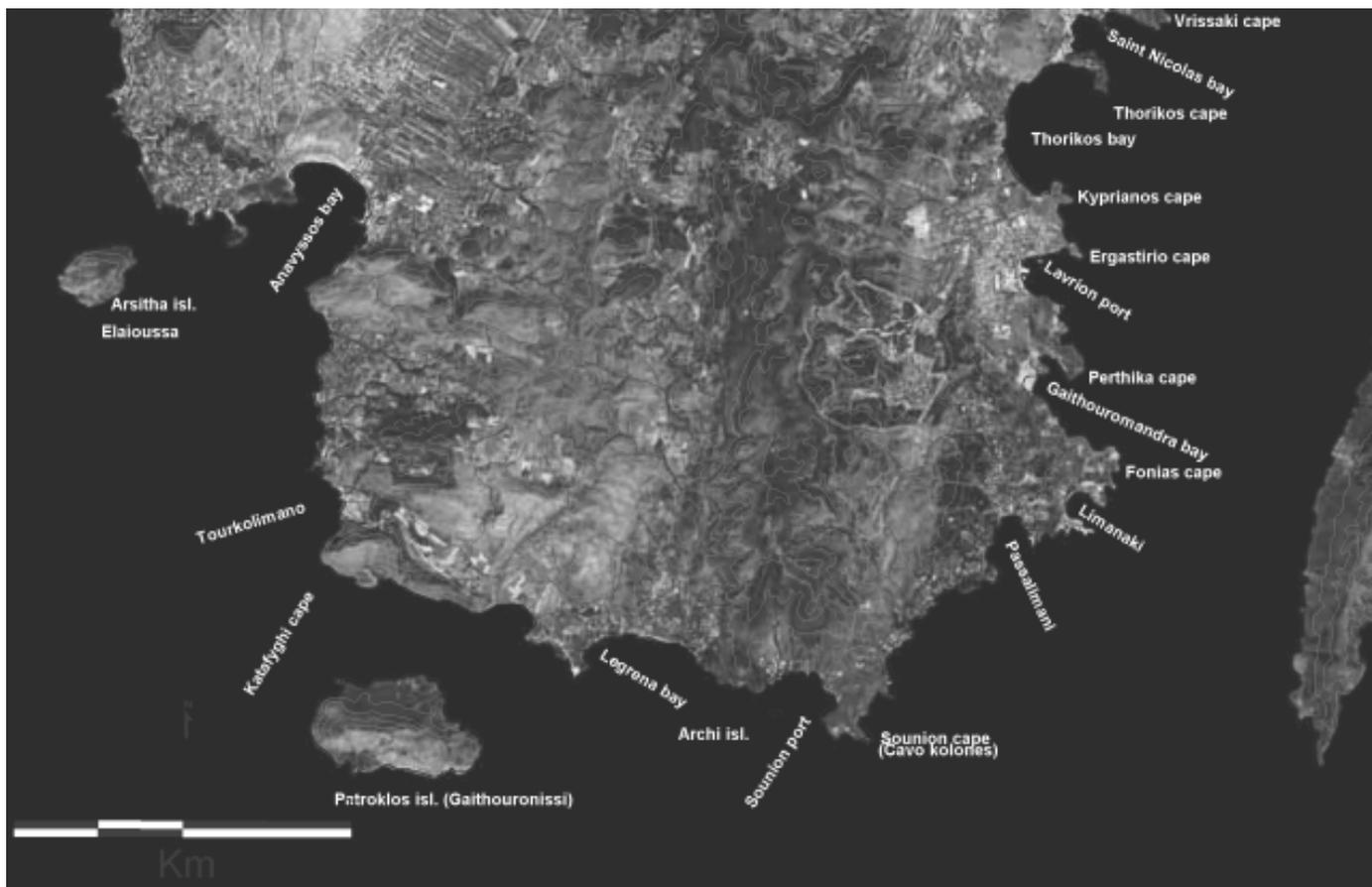
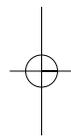
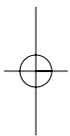
Du point de vue géomorphologique, le sud de l'Attique a peut-être constitué un secteur paléo-géographique continu pendant le Miocène moyen, plus vaste que de nos jours et d'une morphologie différente. Cette image de bassins de sédimentation connectés, s'est différenciée pendant le Miocène Supérieur/Pliocène Inférieur, à cause de mouvements tectoniques discontinus, qui ont abouti à la formation de beaucoup de petits bassins intérieurs.



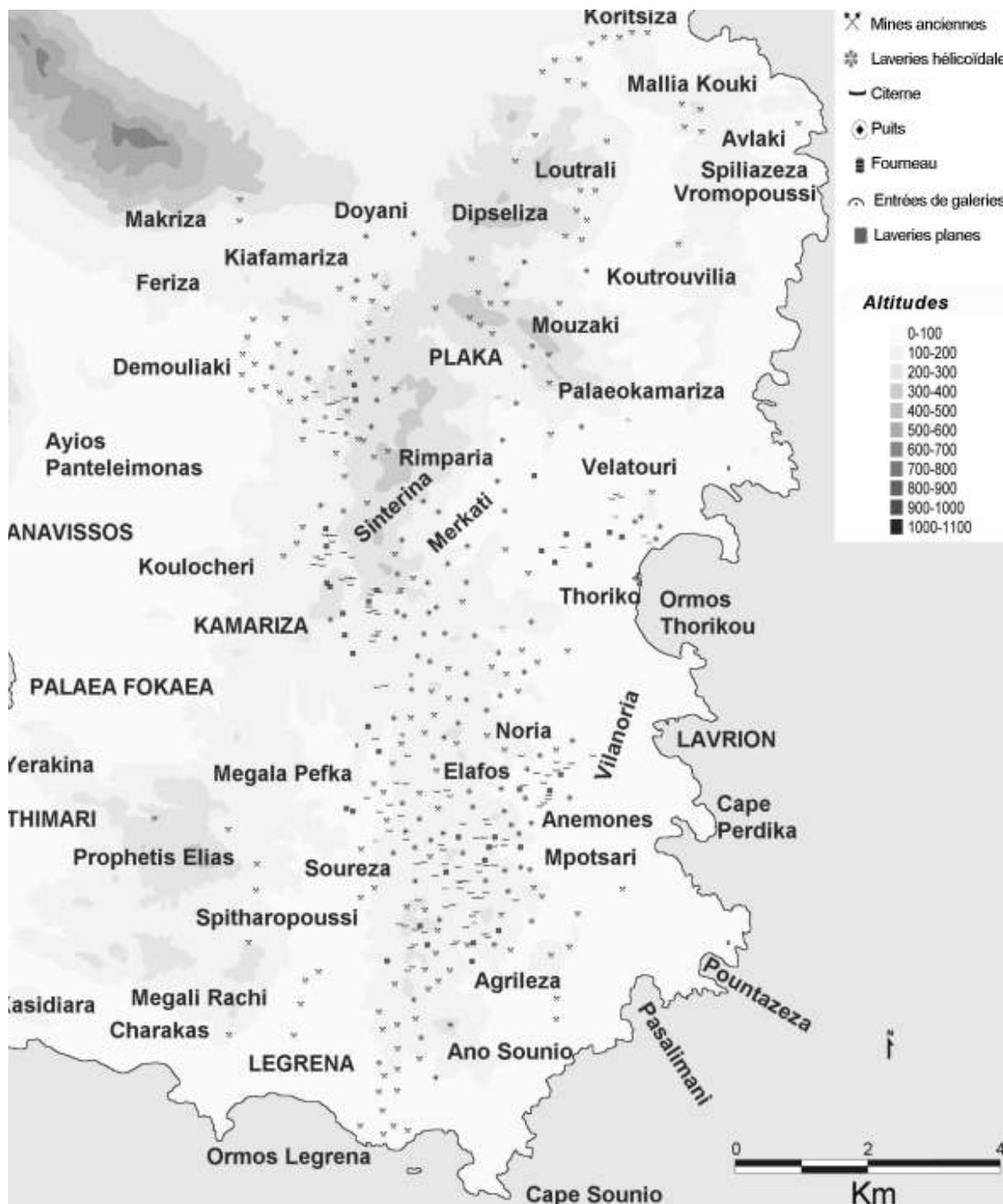
Le sud de l'Attique est géologiquement et tectoniquement en rapport avec la Grèce continentale et les Cyclades septentrionales, constituant une unité géomorphologique de transition. Sa connexion paléo-géographique avec ces deux secteurs implique l'existence d'un certain nombre de structures géomorphologiques dont la genèse et l'évolution dépendent des conditions géomorphologiques qui ont prévalu en Grèce continentale ainsi que dans les Cyclades du Nord.



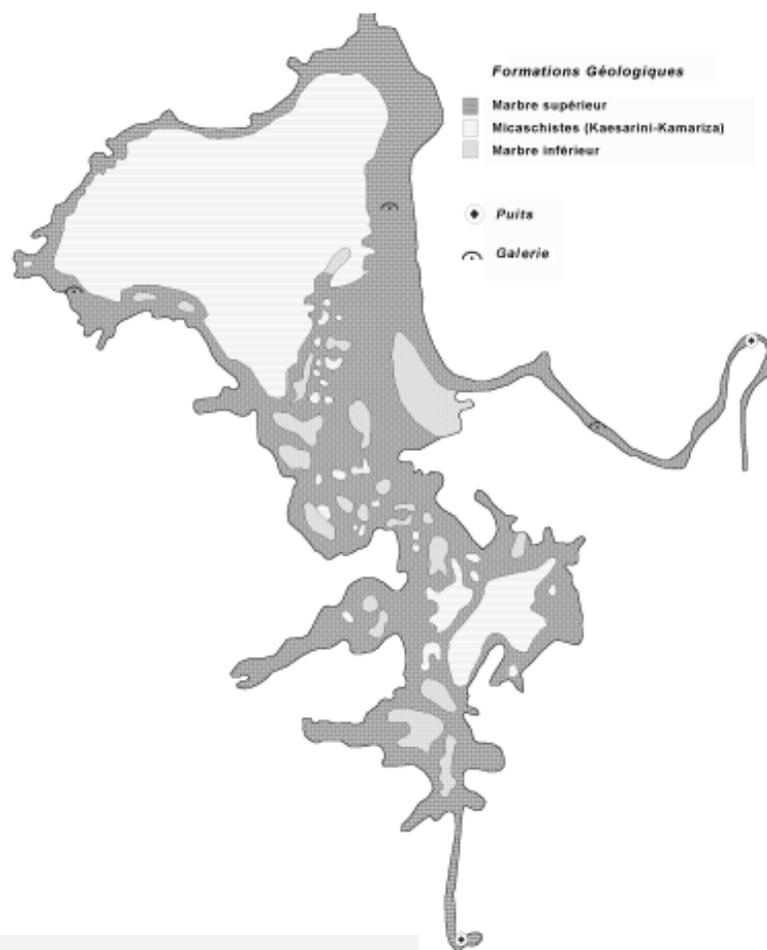
L'ensemble du territoire du Laurion et image-satellite de la région du Laurion : hydrographie et topographie



LES MINES DU LAURION



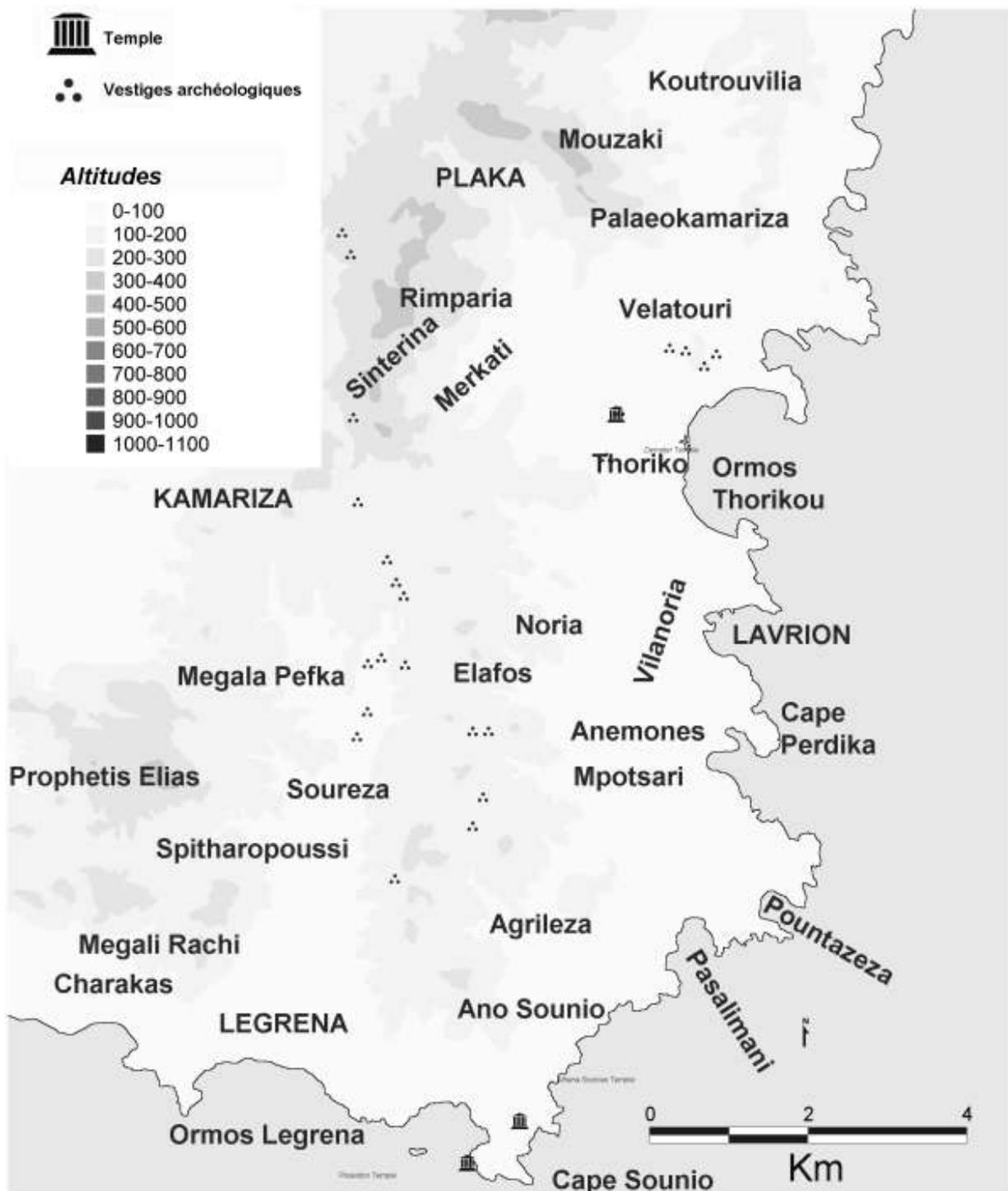
Les structures minières du Laurion
(d'après A. Demetriades, 1999)



La mine ancienne de Noria
(d'après K. Konophagos, 1980)

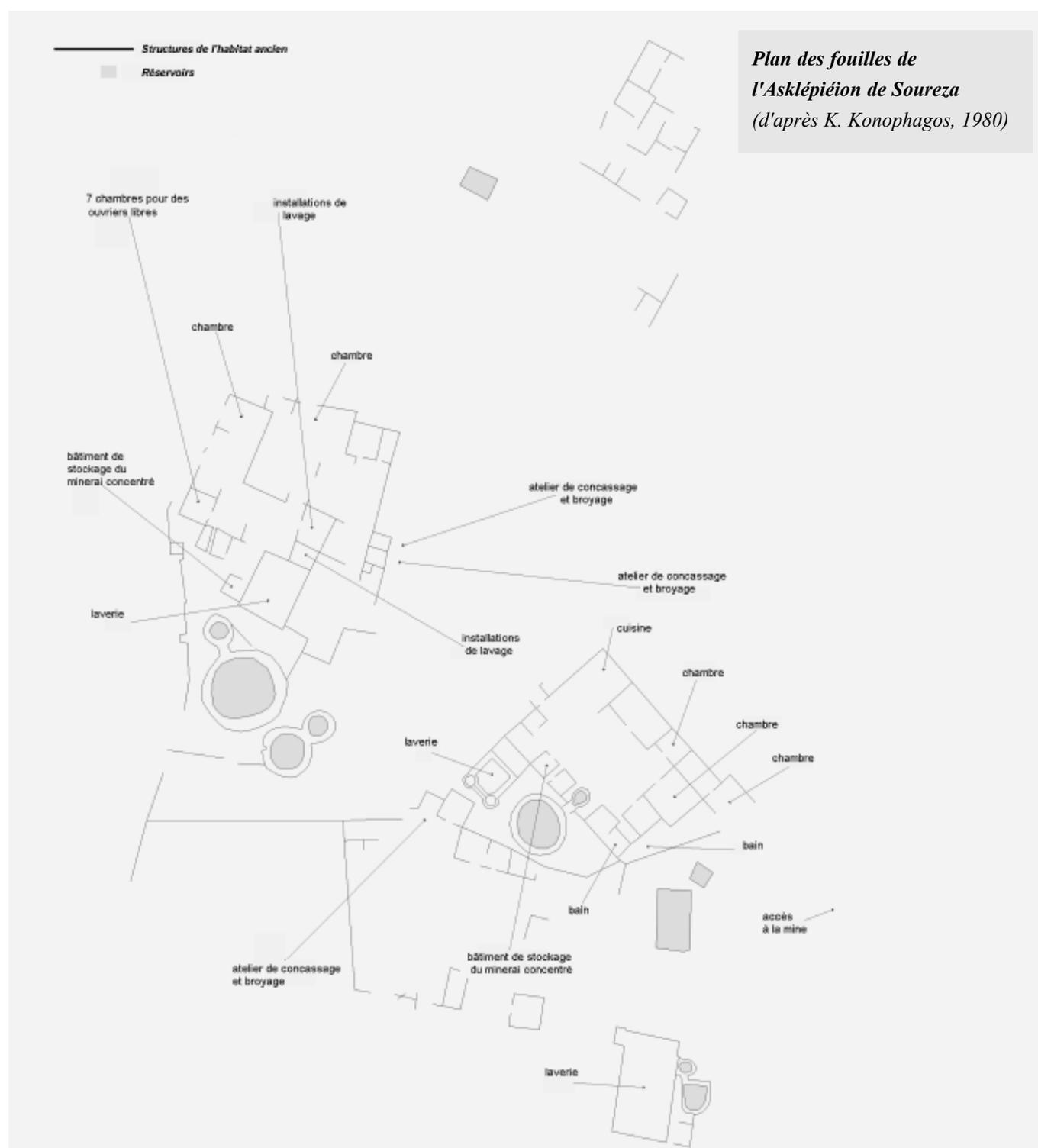
La mine ancienne de "Noria" est située dans le secteur de Noria. Les mineurs anciens ont exploité ici le deuxième contact, entre le marbre supérieur et les micaschistes de Kaesariani-Kamariza, selon la méthode de "piliers et galeries". Le minerai formait un lit horizontal, atteignant une profondeur de 10 m. Les puits permettaient l'aération aussi bien que l'extraction. Le puits méridional a atteint le troisième contact (micaschistes/ complexe inférieur de marbres), mais il ne s'est pas avéré rentable. L'extraction du minerai a été effectuée à travers le même puits. Les galeries ont été creusées dans le marbre supérieur, avec sol de micaschistes. Les mineurs modernes n'ont pas trouvé de plomb ici, et n'ont donc pas élargi les chantiers anciens. Ils ont seulement récupéré la fluorite et la "calamine" (smithsonite ferreuse, des oxydes de fer mixtes et hydratés) qui s'étaient formées dans les scories de la mine.

L'HABITAT ANCIEN AU LAURION

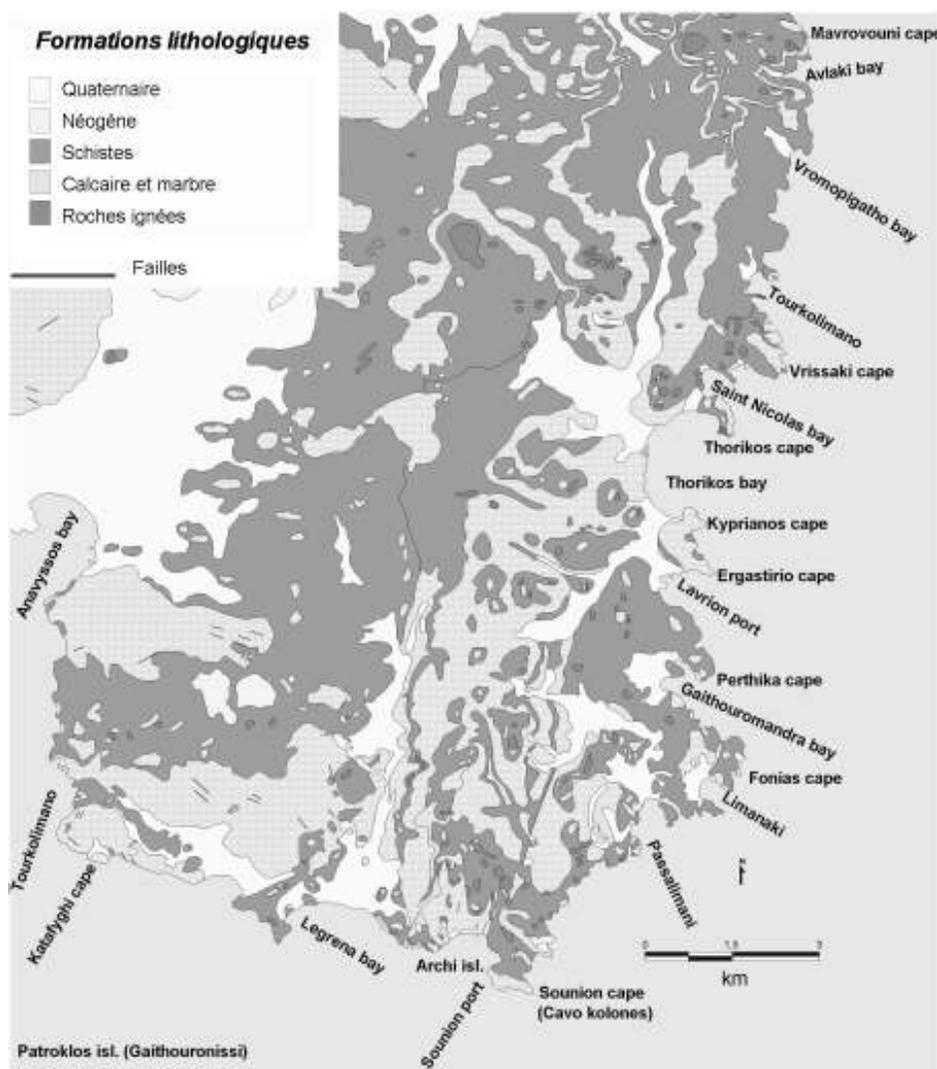


Sites archéologiques dans les secteurs miniers du Laurion (d'après A. Demetriades, 1999)

Selon une estimation relative, il y avait 11.000 travailleurs pendant le Ve siècle av. J.-C. dans le secteur principal de Laurion. Certains travailleurs, notamment le groupe qui contrôlait les travaux, ont vécu dans les alentours, dans des demeures avec bains et autres commodités. La main d'œuvre servile a été employée pour l'obtention du minerai, mais elle a également réalisé d'autres travaux qui exigeaient une spécialisation et des connaissances techniques. On considère que 30% au moins des esclaves étaient des experts, tandis que 10% étaient des travailleurs de confiance (des hommes libres et des esclaves) qui effectuaient des tâches telles que la coupellation et le monnayage.



LA GÉOLOGIE ET LES MINÉRAIS



L'Attique méridionale présente une structure géotectonique complexe. Le secteur sud-est appartient à la zone tectonico-métamorphique de l'unité Pélagonienne. Les roches pré-tertiaires du secteur sont des formations métamorphiques et semi-métamorphiques (des marbres, des marbres dolomitiques, des micaschistes et des phyllites).

Carte géologique de la région du Laurion

Il y a trois unités lithostratigraphiques principales :

- L'unité géotectonique inférieure "Attica" (la plus ancienne et relativement autochtone).
- L'unité allochtone du système Phyllitique
- Les formations plus récentes tertiaires et quaternaires, qui apparaissent en discordance sur les deux premières unités
- Une pénétration de granite.

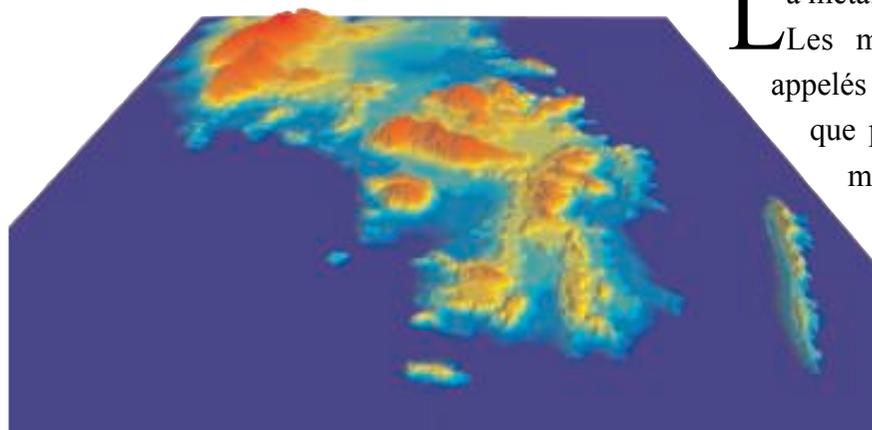
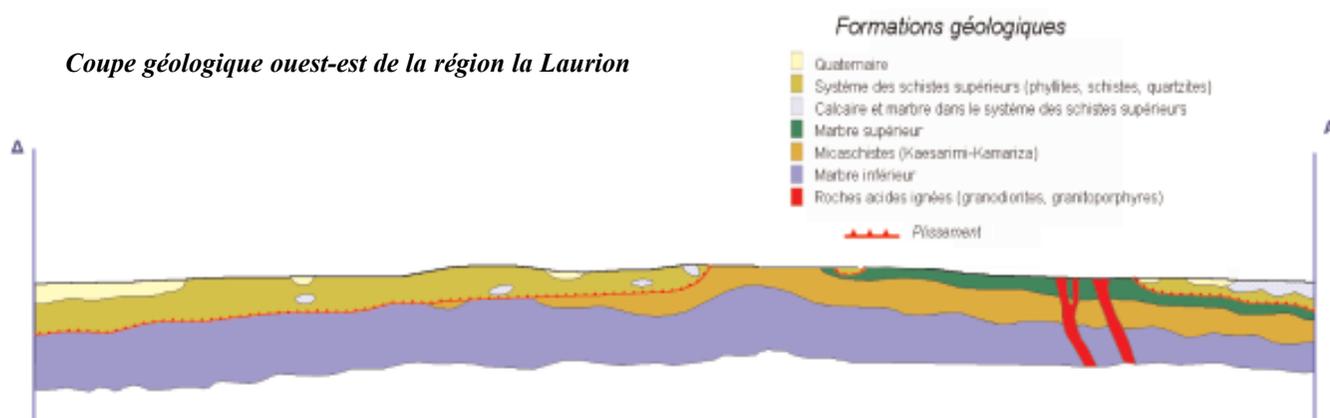
En ce qui concerne le système autochtone, il est métamorphisé et intensément déformé, avec une direction de tension initiale NE-SO, et une autre direction plus récente NO-SE. Cette unité est composée de schistes et d'un grand massif de marbres, souvent dolomitiques. Ces formations sont d'âge triasique-jurassique. Le système Phyllitique des schistes supérieurs

chevauche le substrat semi-autochtone métamorphique qu'on vient de mentionner, et il est daté du Trias - Jurassique. La pénétration de granite (la granodiorite du Miocène) peu développée apparaît dans le domaine de la plaine du Laurion et de Paleokamariza. Plusieurs chercheurs ont daté le granite, en se fondant sur la méthode K-Ar à la biotite.

Les formes géomorphologiques les plus importantes qu'on puisse retrouver dans le secteur étudié sont :

- Les formations karstiques et en particulier des grottes et des escarpements qui apparaissent principalement sur les surfaces aplanies développées sur les marbres
- Les surfaces d'aplanissement, qui sont situées entre 20 et 360 m, et qui se sont notamment développées sur les marbres, les phyllites et les schistes. Elles présentent des pentes vers le nord, le nord-est et l'est
- Les cônes talus
- Les buttes dont l'origine est fonction de l'érosion différentielle
- Les roches de plage sont souvent stratifiées en pente vers la mer
- Les dunes

Coupe géologique ouest-est de la région la Laurion



La métallogénèse est de nature hydrothermale. Les minerais sont des sulfures mixtes, appelés BPG (blende, pyrite, galène), ainsi que plus de 265 minéraux, y compris les minéraux constituant des roches et les minéraux secondaires, provenant de scories accumulées par des travaux miniers. Lavrionite, Kamarezite, Ktenasite, Thorikosite et Serpierite sont des minéraux dont les noms sont associés au Laurion.



En haut : modèle digital du terrain de la région du Laurion.

En bas à gauche : les escarpements de roches carbonatées du Laurion ; à droite : roches de plage de la zone côtière du Laurion

L'EXTRACTION ET LE TRAITEMENT DU MINERAI



Le traitement du minerai dans les mines anciennes du Laurion comportait les procédures suivantes :

- L'extraction du minerai grâce à l'excavation de galeries et de puits.

- L'enrichissement du minerai en deux étapes:

a) Le concassage et le broyage ;

b) Le triage par décantation, exécuté

dans des laveries spécialisées (planes et hélicoïdales).

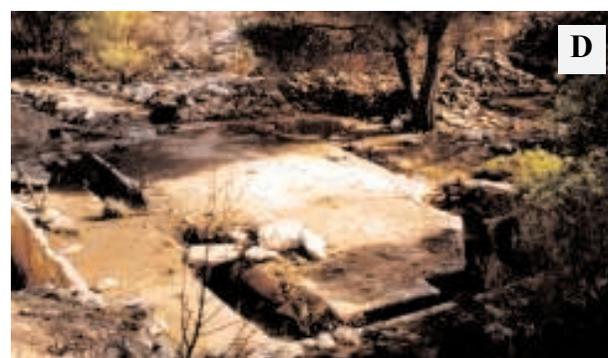
- Le traitement pyrométallurgique du minerai afin de produire de l'argent et du plomb ; cette opération était elle-même réalisée en trois étapes:

a) Fusion du minerai dans les fourneaux verticaux utilisant le charbon comme combustible.

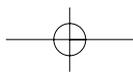
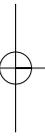
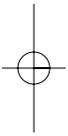
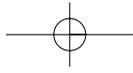
Les produits qui en résultent sont le plomb argentifère et des scories, qui sont rejetées.

b) Coupellation du plomb argentifère dans des fourneaux spéciaux. Les produits sont l'argent et l'oxyde de plomb (PbO), la "litharge".

c) Traitement de la litharge dans les fours verticaux pour la production de plomb, déjà désargenté, destiné au commerce.



A. Entrées des galeries à Agia Triada ; B. Puits ancien à Soureza ; C. Citerne du secteur de Soureza ; D. Soureza : laverie plane ; E. Les anciens fourneaux découverts à Panormos ; F. Anciens marteaux de mineur (Konophagos, K., 1980)



LES MINES DU LAURION ET L'ATHÈNES CLASSIQUE



Stèle datée de 367 av. J.-C. provenant de l'ancienne Agora d'Athènes. Le texte mentionne 17 concessions minières
(Musée de l'Agora, K. Konophagos, 1980)

Il semble que Clisthène avait inclus la nationalisation des mines de la région du Laurion dans ses lois. Tout homme libre pouvait obtenir une concession, en payant la quantité correspondante d'argent, et louer une mine, voire une galerie, pendant 3, 7 ou 10 ans, selon les conditions du développement des travaux. Pour les locataires les retombées de l'exploitation des mines étaient alors très élevées.

Selon les calculs effectués à partir des données disponibles, on considère qu'au Laurion les mineurs et les travailleurs métallurgiques étaient 11.000 environ, avec une production annuelle maximale de 20.000 kg d'argent. Outre les esclaves, qui représentaient la main d'oeuvre la plus nombreuse, plusieurs travailleurs libres participaient aux importants travaux de recherche, contrôle et production des métaux précieux. Au temps de Callistrate (peut-être encore plus tôt) les lois concernant les mines étaient systématisées, comme le prouvent les "actions minières" et les "discours relatifs aux mines" (deux de Démosthène, un de Lycurgue et peut-être deux de Dinarque), datés de 345-323 av. J.-C.



En haut : reconstruction schématique de la disposition des structures métallurgiques au IV^e siècle av. J.-C.
(d'après K. Konofagos, 1980)

À gauche : Thorikos, le théâtre ancien et l'entrée d'une galerie partiellement restaurée, voisine du théâtre, utilisée depuis 3.000 av. J.-C.



La frappe de la monnaie dans un atelier athénien du Ve siècle av. J.-C.
(K. Konopagos, 1980)



Tétradrachme d'argent, 450-440 av. J.-C.
Verso : la chouette athénienne
(Collection Ottilia Buerger, Lawrence University de Wiskonsin).

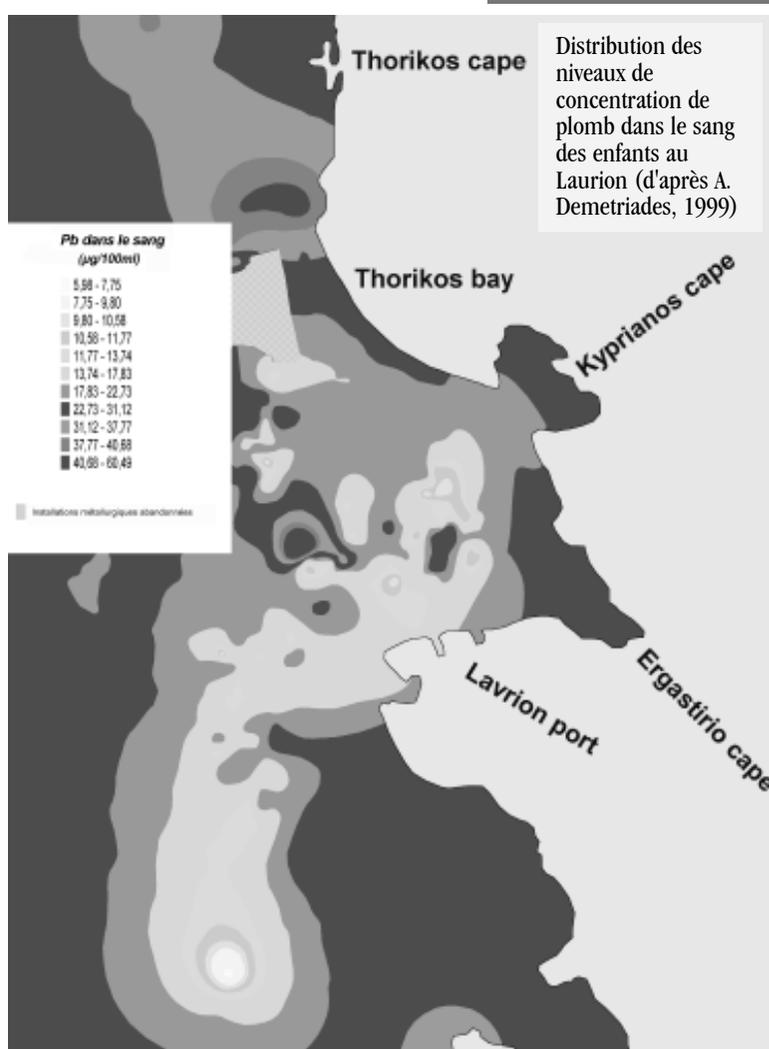
L'argent produit dans les mines du Laurion était transporté à Athènes pour frapper la monnaie de l'État et était également exporté. Le plomb était destiné à des fins domestiques et commerciales. Le cuivre était également un produit précieux du secteur, tandis que le fer a été utilisé pour fabriquer les outils.



La baie de Thorikos vue du théâtre

Les mines et l'activité métallurgique de Laurion ont provoqué une dégradation considérable du paysage de l'Attique. Au temps de Strabon, les forêts avaient été complètement ravagées pour fournir le bois pour les mines et le charbon pour la métallurgie. Cela a provoqué une perturbation du cycle de l'eau, des changements climatiques et une érosion importante.

Les collines artificielles, formées par des sous-produits de l'activité extractive et métallurgique, tels que les scories et les stériles, ont aussi contribué à la dégradation et aux changements environnementaux et écologiques dans la géomorphologie du secteur. Compte-tenu du fait que la réduction sélective était incomplète



Secteur urbain du Laurion. Localisation des déchets métallurgiques (d'après A. Demetriades, 1999)

pendant la fusion du minerai, les crassiers de Laurion ont eu une teneur en plomb élevée, qui est responsable de la pollution du sol et de l'eau provoquée par les eaux acides.

Les puits miniers anciens (plus de 2.000) accélèrent l'érosion du sol et entraînent le dépôt des substances toxiques dans le niveau phréatique.

Les effets des activités minières et métallurgiques anciennes, bien qu'ils soient intenses et vastes, ne peuvent être comparés aux dommages causés par l'exploitation récente, qui a commencé en 1865 et s'est terminée en 1989.

Déchets métallurgiques autour du secteur urbain du Laurion



Le volume et l'ampleur des déchets métallurgiques dans le secteur urbain du Laurion sont considérables, et ont contribué, avec d'autres facteurs (atmosphériques, fluviaux, etc.), à la contamination du sol par les divers métaux (plomb, zinc, arsenic, antimoine, cadmium, cuivre, mercure, etc...)

Les recherches géochimiques sur l'horizon superficiel du sol ont démontré l'intensité et l'ampleur du problème de contamination. La poussière des maisons est aussi très fortement contaminée. Le risque de l'exposition aux conditions environnementales locales est indiqué par les concentrations de plomb élevées dans le sang des enfants.

BIBLIOGRAPHIE

ALTHERR, R., KREUZER, H., WENDT, I., LENZ, H., WAGNER, G., KELLER, J., HARRE, W. et HOHDORF, A., 1982, "A late oligocene/Early Miocene high temperature belt in the Attic-Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece)", *Geol. Jb. E*, 23, 97-164, Hannover.
 DEMETRIADES, A. (éd.), 1999, *Geochemical Atlas of the Laurion urban area for environmental protection and planning*, Athènes.
 KAKAVOGIANNIS, E., 1988, *The ancient mines of Lavreotiki*, Athènes.
 KATERINOPOULOS, A. et ZISSIMOPOULOU, E., 1994, *Minerals of the Laurion mines*, Athènes.

KATSIKATSOS, G., 1976, "La structure tectonique de l'Attique et de l'île de Eubée", *Bulletin de la Société Géologique de France*, 19, 75-80.
 KOBER, L., 1929, "Beitrag zur Geologie von Attika" *Sitzungsber. Akad. Wiss. Mat-Nat. Kl.*, 138, 299-327.
 KONOPHAGOS, K., 1980, *The Ancient Lavrion*, Athènes.
 LELEU, M. et NEUMANN, M., 1969, "L'âge des formations d'Attique: du paléozoïque au mésozoïque", *C.R. Ac. Sc.*, 268, 1361-1363.
 LEPSIUS, R., 1893, *Geologie von Attika*, Berlin.
 MARINOS, G. et PETRASCHECK, W., 1956, *Lavrion, Institute of Geology and Subsoil Research*, vol.4, Athènes.
 TSAIMOU, C., G., 1997, "Ancient Lavrion and Environment", *Mineral Wealth*, 102, 37-38.

ABSTRACT

The town of Laurium lies at the southern edge of the Attic peninsula, at about 75 km Southeast of Athens. A wider metalliferous and mining area of approximately 200 km² is called Lavreotiki. Laurium is the most significant mining and metallurgical center of Greek antiquity. For thousands of years, it provided the city of Athens with silver, consolidating the state's economy and financing its expansion as a trading and naval power, and it played an important role in the creation of ancient civilization. The Laurium metalliferous deposits were formed mainly between the contacts of marble and schists which are the main geological formations. The first and third contacts proved to be the richest ore bearing levels.

The entire mining site of Laurium constitutes a natural museum, since of the approximately 3,000 distinct types of mineral recognized worldwide, more than 265 can be found in the region, including rock-forming and secondary minerals created in the slag produced by the mining works. The geomorphological characteristics are very significant as they indicate the palaeo-geographical conditions of the area. The numerous remains that survive throughout, such as galleries, shafts, washeries, living quarters, etc., in addition to their archaeological value, provide unique information about the ancient mining industry and the workers' way of life. Moreover, the Laureot Owls - the famous Attic tetradrachm - which proved to be one of the most successful and widely-used Greek coins of the ancient world, testifies to the development of an exquisite technique for producing coinage achieved by ancient minters.

Human activity, especially mining and smelting, caused a number of environmental problems in ancient, as well as in modern, times.

RESUMEN

La ciudad de Laurion se encuentra en la zona meridional del Ática, unos 75 km al sudeste de Atenas. El conjunto de la zona de actividad minera y metalúrgica, de unos 200km², se denomina Lavreotiki. Laurion constituye el centro minero y metalúrgico más importante de la Grecia antigua. Durante miles de años ha proporcionado plata a la ciudad de Atenas, consolidando su situación económica y financiando su expansión basada en su poderío naval y comercial, de manera que jugó un papel importante en la antigua civilización. Los depósitos metálicos de Laurion se formaron principalmente en las zonas de contacto de mármoles y esquistos que constituyen las formaciones geológicas más importantes. Los contactos primero y tercero son los más ricos.

El conjunto de Laurion es un auténtico museo natural, ya que de los aproximadamente 3.000 tipos de minerales conocidos en el mundo, más de 265 pueden encontrarse en la región, incluyendo los minerales que forman las rocas y los minerales secundarios formados en las escorias resultantes de los trabajos mineros. Las características geomorfológicas son muy significativas, ya que indican las condiciones paleogeográficas del sector. Más allá de su valor arqueológico, los abundantes restos que se detectan en toda la zona (galerías, pozos, zonas de lavado, hábitats mineros...) proporcionan informaciones excepcionales sobre la minería antigua y las formas de vida de los trabajadores. Por otra parte, el célebre tetradracma ático, con la lechuza, se convirtió en la moneda griega más difundida en el mundo antiguo, y es testimonio del desarrollo de una técnica de acuñación elaborada.

La actividad humana, en especial la extractiva y la fundición, han causado diversos problemas ecológicos, tanto en la Antigüedad como en nuestros días.