

Métaux lourds dans les sols du bassin genevois : état de la question

Autor(en): **Landry, J.-Cl. / Célarin, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société**

Band (Jahr): **41 (1988)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-740388>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

MÉTAUX LOURDS DANS LES SOLS DU BASSIN GENEVOIS: ÉTAT DE LA QUESTION

PAR

J.-Cl. LANDRY, F. CÉLARDIN *

1. INTRODUCTION

La toxicité des métaux lourds — cadmium, mercure, thallium, plomb — et des métaux de transition — chrome, cobalt, nickel, cuivre, zinc, molybdène — est reconnue et a fait l'objet de nombreuses études. La loi fédérale sur la protection de l'environnement ¹, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1985 permet au Conseil fédéral de fixer des valeurs indicatives en vue de l'évaluation des atteintes faites au sol par des substances nocives non dégradables. Dans sa forme actuelle, l'ordonnance sur les polluants du sol ² (Osol), fixe les seuils en teneurs limites de 10 métaux et du fluor. Cette ordonnance est entrée en vigueur le 1^{er} septembre 1986. Les valeurs limites sont données dans le tableau I:

TABLEAU I

Teneur en polluants d'un échantillon de terre minérale, séchée à l'air (ppm)

Polluants	Teneur totale (extrait de HNO ₃)	Teneur soluble (extrait de NaNO ₃)
Mercure (Hg)	0,8	—
Thallium (Tl)	1	—
Molybdène (Mo)	5	—
Cobalt (Co)	25	—
Chrome (Cr)	75	—
Cadmium (Cd)	0,8	0,03
Nickel (Ni)	50	0,2
Zinc (Zn)	200	0,5
Cuivre (Cu)	50	0,7
Plomb (Pb)	50	1,0
Fluor (F)	400	25,0 ¹

¹ Teneur hydrosoluble.

* Service cantonal d'écotoxicologie, avenue Sainte-Clotilde 23, case postale 78, CH-1211 Genève 8.

Selon cette ordonnance, on entend par teneur totale la fraction de métaux lourds extractibles par une solution d'acide nitrique de 2 mol/L et par teneur soluble, c'est-à-dire la teneur qui est échangeable par les plantes, la fraction extractible par une solution de nitrate de sodium 0,1 mol/L.

La simplification d'un problème aussi ardu que la spéciation des métaux lourds et de transition dans un milieu aussi complexe et hétérogène que le sol n'a été envisagée que dans le but pratique de pouvoir suivre **l'évolution** à moyen et à long terme de la **teneur relative** de ces métaux considérés comme des polluants prioritaires. Actuellement, des recherches sur la spéciation des métaux dans les sols sont en cours. Le terme spéciation recouvre l'ensemble des analyses qui permettent de savoir sous quelle forme, minérale ou organique, se trouvent les métaux. Pour le mercure, on connaît les formes du mercure métallique, du mercure I, du mercure II, du méthyl- et du diméthylmercure (II), de l'éthyl- et du diéthylmercure (II), du phényl- et diphénylmercure (II), etc. L'aboutissement de ces recherches permettra alors d'apporter des solutions plus fines pour préserver les sols: on saura comment évoluent les espèces chimiques dans les sols.

Les deux méthodes d'extraction préconisées dans l'Ordonnance sur la protection des sols, Osol, comportent un raccourci très sensible par rapport à des méthodes d'extraction «classiques» plus rigoureuses et plus riches en renseignements qui ne comportent pas moins de six extractions³; toutefois, cette approche permet une évaluation globale plus rapide et donc moins coûteuse et qui pourrait être entreprise à des intervalles de temps plus rapprochés.

L'objet de la campagne de mesures entreprise a été d'éprouver la faisabilité d'une telle approche dans le cadre d'un canton, ceci compte tenu des avantages et des limitations que nous venons d'évoquer. Les prélèvements, au nombre de 132, ont été effectués entre les mois d'avril et juin 1986 sur le territoire du canton de Genève.

2. MÉTHODOLOGIE

Toutes les solutions ont été préparées à partir de réactifs Merck (supra pur) dans de l'eau tridistillée. Pour les dosages par absorption atomique, les solutions standard ont été préparées à partir de solutions étalon Titrisol Merck pour absorption atomique.

2.1. *Prélèvements*

Chaque prélèvement est constitué d'un mélange de cinq échantillons d'environ un kilogramme prélevés sur une profondeur d'environ 20 cm aux sommets et au centre d'un carré de cinq mètres de côté. Du mélange grossièrement homogénéisé sur place, on prélève environ 2 kg pour effectuer les opérations subséquentes au laboratoire.

Les échantillons de terre, réduits en grumeaux, débarrassés des débris organiques et des gros cailloux, ont été séchés à 30° C à poids constant.

La terre est alors broyée dans un mortier et tamisée à 0,2 mesh. On obtient ainsi l'échantillon à extraire.

2.2. *Extraction des métaux totaux*

L'échantillon de terre tamisé (10 g) est placé dans une solution de 100 ml d'acide nitrique, 2 mol/L, et chauffé au bain-marie pendant deux heures. La suspension est filtrée sur papier filtre Schleicher & Schüll n° 604. Le volume du filtrat complété à 100 mL avec la solution de HNO₃ et soumise à l'analyse par absorption atomique.

2.3. *Extraction des métaux des solubles (échangeables par l'acétate d'ammonium)*

L'échantillon de terre (10 g) est traité par une solution de 100 mL d'acétate d'ammonium 1mol/L, de pH 4,8, et agitée à la température ambiante pendant une heure. La suspension est filtrée, le volume du filtrat complété à 100 mL avec la solution d'acétate d'ammonium, puis soumise à l'analyse. Nous nous sommes écartés ici de la procédure de l'ordonnance qui préconise une extraction dans une solution de NaNO₃ 0,1 mol/L.

2.4. *Extraction des métaux solubles (échangeables par le nitrate de sodium)*

L'échantillon de terre (10 g) est traité par 25 mL d'une solution de nitrate de sodium à la température ambiante pendant 1 heure. La suspension est filtrée sur papier filtre Schleicher & Schüll n° 604. Le volume du filtrat complété à 25 mL avec la solution de nitrate de sodium puis soumise à l'analyse par absorption atomique sans flamme (ASSF).

Pour les trois types d'extractions, les «blancs» ont été effectués à partir d'eau tridistillée soumise au même traitement.

2.5. *Dosage des métaux lourds*

Les dosages ont été effectués par spectrométrie d'absorption atomique avec et sans flamme sur un appareil Perkin-Elmer 2380 avec four à graphite HGA-500. Le mercure a été dosé par génération de l'hydrure (vapeur froide) sur un appareil Varian AA/775.

Les limites de détection ont été fixées par rapport à une densité optique minimale de 0,05 compte tenu des performances de nos appareils. Il s'agit là d'une valeur qui assure une limite de confiance relativement élevée. D'après cette valeur de densité optique, les seuils de détection pour les dix éléments étudiés et selon la méthode décrite sont donnés dans le tableau II:

TABLEAU II

Limites de détection par spectrophotométrie d'absorption atomique avec et sans flamme (four graphite)

Métaux	Prélèvement 1	Prélèvement 2
Chrome (Cr)	13	12
Cobalt (Co)	9	7
Nickel (Ni)	24	22
Cuivre (Cu)	8	9
Zinc (Zn)	32	39
Molybdène (Mo)	<	<
Cadmium (Cd)	<	1
Mercure (Hg)	0,04	0,03
Thallium (Tl)	<	<
Plomb (Pb)	17	18

* Méthode par réduction en hydrure.

Ces limites de détection se situent au-dessous des valeurs indicatives données dans Osol pour les teneurs totales (excepté pour le Mo et le Tl par absorption atomique avec flamme) ainsi que pour celles données pour les extraits de métaux solubles.

2.6. Discussion

Dans un premier temps, la reproductibilité de la méthode d'extraction a été vérifiée, en procédant à deux extractions indépendantes sur le même échantillon. Les résultats obtenus pour les teneurs totales sont donnés dans le tableau III.

Dans les tableaux qui suivent, le signe < signifie que la teneur de l'élément en question se situe au-dessous des seuils de détection exprimés ci-dessus.

Lorsque les limites de détection de la technique par absorption atomique avec flamme étaient trop élevées, nous avons utilisé l'absorption atomique sans flamme. Les limites de détection sont données dans le tableau II.

En outre, la variabilité des résultats par rapport à un même site de référence a été évaluée en effectuant 4 prélèvements dans un rayon de 50 mètres. Cette évaluation a été basée uniquement sur l'extraction totale (Tableau IV).

On constate que les résultats sont assez homogènes dans le rayon de prélèvement.

TABLEAU III

*Reproductibilité de la méthode d'extraction
résultats exprimés en ppm
(méthode d'absorption atomique avec flamme)*

Métaux	avec flamme ppm	sans flamme ppm
Chrome (Cr)	1	0,01
Cobalt (Co)	2	0,02
Nickel (Ni)	2	0,03
Cuivre (Cu)	1	0,02
Zinc (Zn)	0,3	0,01
Molybdène (Mo)	6	-
Cadmium (Cd)	0,5	0,001
Mercure (Hg)	0,0025*	-
Thallium (Tl)	7	0,01
Plomb (Pb)	9	0,02

TABLEAU IV

*Variabilité des résultats pour un site de référence
résultats exprimés en ppm
(technique d'absorption atomique avec flamme)*

Métaux	Prélèvements			
	1	2	3	4
Chrome (Cr)	12	14	14	15
Cobalt (Co)	7	11	9	7
Nickel (Ni)	22	26	24	28
Cuivre (Cu)	9	8	7	8
Zinc (Zn)	39	39	33	35
Molybdène (Mo)	<	<	<	<
Cadmium (Cd)	1	28	0	0
Mercure (Hg)	0,03	0,06	0,07	0,04
Thallium (Tl)	<	<	<	<
Plomb (Pb)	18	16	14	18

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les 132 emplacements de mesure dans le canton de Genève sont donnés dans la figure 1*. Les cartes des figures 1 à 14 sont publiées avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie (autorisation N° 8-2265 du 24.11.86).

Les types de sols ont été classés en 4 catégories d'après le type de végétation, soit: **bois, prés, cultures, vignes.**

Il est évident qu'on pourrait envisager des classifications pédologiques ou géologiques; mais, compte tenu du but de l'ordonnance Osol, cette classification nous a paru être la plus significative, surtout lorsqu'il s'agit de mettre en évidence le rôle de l'intervention humaine dans la qualité du sol. Elle n'est certainement pas adéquate si on considère la nature du sol, sa composition, sa granulométrie, ses capacités d'échange, etc...

Les résultats des analyses sont représentés sous deux formes:

1. Sous forme de cartes (figures 2 à 14).
2. Sous forme d'histogramme en fonction des quatre types de sols que nous avons définis.

La méthode analytique d'absorption atomique avec flamme n'ayant pas permis de détecter les traces des éléments «solubles» la technique par AASF a été utilisée; les commentaires tiennent compte de ce fait.

Les comparaisons des teneurs selon les emplacements ne pourront être significatives que dans la mesure où l'évaluation se base sur des sols de même type ou catégorie.

Toutefois, dans un premier temps, il nous a paru intéressant de tenter une comparaison globale de l'ensemble des sites par rapport à d'autres sites «critiques», c'est-à-dire abords d'usines dont les émissions sont élevées, axes d'aéroport ou même la ville par rapport à la campagne.

Dans ce but, nous avons subdivisé le canton en régions qui nous paraissent représentatives (voir figure 1), avec toutes les réserves que ceci implique.

Région 1: zones boisée et agricole de Meinier-Jussy — Collonge-Anières.

Région 2: région suburbaine de Chêne-Thônex-Troinex-(Plan-les-Ouates).

Région 3: centre ville de Genève, comme représentative d'une zone urbaine type, à forte densité de trafic automobile avec les émissions qui en découlent.

Région 4: région agricole de «La Champagne».

Région 5: zone proche de l'usine d'incinération des Cheneviers. Cette usine constitue une source d'émissions de métaux lourds.

Région 6: le vignoble du Mandement.

Région 7: zone comprenant l'aéroport de Genève Cointrin, la nouvelle zone industrielle de Vernier-Meyrin-Satigny (ZIMESA) ainsi que la ville de Meyrin.

Région 8: zone de bois et de vignobles de Collex-Bossy.

* Les cartes des figures 1 à 14 sont publiées avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie (autorisation N° 8-2265 du 24.11.86).

Les moyennes arithmétiques des teneurs totales calculées pour les diverses régions sont données dans le tableau V.

TABLEAU V

Concentrations totales moyennes en métaux lourds et de transition pour les huit régions définies sur la figure 1. exprimés en ppm

Région	Cr			Co			Ni			Cu			Zn			Mo	Cd			Hg(x 10 ⁺⁴)			Tl	Pb		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III		I	II	III	I	II	III		I	II	III
1	51	29	2491	2	7	4	6	27	38	83	51	6710	83	66	6609	5	1	24	181	290	3	11	25	112		
2	5	18	21	2	4	3	4	22	7	105	62	10300	67	77	4163	0	0	0	780	702	57	51	50	2465		
3	7	21	39	3	4	6	14	30	171	16	41	269	21	83	392	0,5	0,7	0,1	1316	1743	148	35	83	1049		
4	52	32	2639	18	9	297	17	29	301	59	38	3353	27	60	687	0,3	0,1	0,1	199	320	4	18	26	314		
5	6	25	29	2	8	3	9	31	69	46	41	1780	11	73	106	0,5	0,6	0,2	16	440	0,2	14	28	159		
6	16	32	224	4	9	12	35	64	1146	84	100	6496	44	68	1815	0,5	0,3	0,2	643	625	38	36	32	1205		
7	14	32	195	3	7	11	18	41	315	19	23	351	90	78	7678	0,3	0,1	0,1	822	581	63	28	34	740		
8	26	47	609	2	8	6	22	52	439	11	14	104	14	45	175	0,3	0,1	0,1	83	210	0,6	5	20	18		

I : Deviation standard
 II : Moyenne
 III : Variance

A l'examen du tableau V, on constate:

- Pour des régions où certaines valeurs indicatives sont dépassées, les valeurs exprimées présentent une forte déviation standard et une très forte variance. Cette particularité est due à la teneur particulièrement élevée de l'élément à un site donné, qui, de ce fait, devient non représentatif de la région étudiée.
- Si ces points particuliers ne sont considérés dans le calcul des moyennes, on retrouve des valeurs plutôt homogènes pour l'ensemble du canton, indépendamment de la région considérée. Ceci apparaît également à l'examen des figures 2 à 14 des teneurs en fonction des sites.

TABLEAU VI

Analyse statistique des résultats

Métal	BOIS			CULTURE			VIGNE		PRE			
	Mode	Médiane	Moyenne	Mode	Médiane	Moyenne	Mode	Médiane	Moyenne	Mode	Médiane	Moyenne
Co	3,4	5,2	6,4	5,5	6	6,6	6,2	7,5	8,2	4,6	6,2	7,2
Cr	16,7	19,2	20,6	22,3	27,2	30	22	25,3	27,2	18,3	21,8	22,8
Cu	9,7	14,9	18,5	17,9	23,4	26,8	51,5	104	147	16,6	20,0	21,9
Hg	0,021	0,034	0,053	0,022	0,032	0,038	0,021	0,039	0,054	0,015	0,032	0,046
Ni	21,5	25,8	28,2	25,4	31,3	34,8	28,2	38,9	45,7	19,9	26,3	30,1
Pb	18,9	26,9	32,1	18,1	25,0	29,4	17,9	28,1	35,1	20,3	26,5	30,3
Zn	43,2	50,1	54,0	44,4	49,6	52,4	61,6	74,7	82,2	45,2	59,0	67,5

Ces premières observations nous permettent d'affirmer que, dans l'ensemble du canton, on ne relève pas de différences très marquées d'une région à l'autre, quelle que soit sa destination. Cette constatation prévaut pour le canton de Genève uniquement. Il peut en aller tout autrement pour de vastes portions de territoires. En l'état, nous n'avons pas poussé et ne pousserons pas plus loin nos investigations dans le cadre des huit régions définies ci-dessus: il y avait peu de chances d'obtenir des résultats exploitables. Par contre, des sites particuliers, où des teneurs élevées en métaux existent, mériteraient des **études ponctuelles** plus poussées afin d'en confirmer l'observation et d'en surveiller l'évolution.

Nous insistons tout particulièrement sur les dangers d'une exploitation non critique des données moyennes lorsque ladite moyenne présente une valeur alarmante qui n'est due qu'à un apport d'une source ponctuelle sur un site ponctuel.

Il est intéressant d'illustrer ce propos avec un exemple tiré de nos observations.

La teneur moyenne en plomb dans la zone centre ville (Région 3) est de 83 ppm (tableau V), tandis que celle observée dans une zone rurale (Région 1) est de 25 ppm (Région 1). Il est évident qu'on s'empresserait de conclure, de façon fort logique d'ailleurs, que les émissions de plomb dues à l'essence de voitures sont à l'origine d'une telle différence.

Or, si on remarque la forte variance du résultat pour la zone ville et qu'on relève les valeurs des différents points entrant dans la moyenne, on constate que la valeur élevée de la moyenne ville est due à la très forte teneur en plomb d'un point situé dans un pré à proximité d'une entreprise de ferrailage et démolition où les opérations sont effectuées sans prendre les mesures adéquates pour limiter les émissions. L'apport de cette source d'émission, dans un périmètre restreint perturbe sensiblement la moyenne globale d'une zone et risque d'entraîner des conclusions hâtives, de portée politique et économique certaine.

En conclusion, nous dirons d'après la démonstration ci-dessus que cette façon d'effectuer des moyennes présente des inconvénients majeurs si elle n'est pas appliquée de manière critique. De plus, elle amalgame les résultats obtenus pour des sols de types divers et par conséquent incomparables.

Une autre façon de représenter les résultats consiste à établir des histogrammes en fonction des types de sol (bois, vignes, cultures, prés).

Les résultats présentés de cette façon permettent de dégager une vue d'ensemble.

La distribution des résultats des histogrammes se rapproche du type dissymétrique log-normal.

Le mode, la médiane et la moyenne calculée selon les **expressions mathématiques ci-dessous** permettent de formuler les résultats présentés dans le tableau VI.

$$\mu_{\log x} = \frac{\log x_0 + \log x_1 + \dots + \log x_n}{N} = \frac{\Sigma \log x}{N}$$

$$\text{Mode} = \text{antilog} (\mu_{\log x} - 2,3 \sigma_{\log x}^2)$$

$$\text{Médiane} = \text{antilog} \mu_{\log x}$$

$$\text{Moyenne} = \text{antilog} (\mu_{\log x} + 1,15 \cdot \sigma_{\log x}^2)$$

$$\sigma_{\log n}^2 = \frac{\Sigma (\log x - \mu_{\log x})^2}{N}$$

où:

- μ : moyenne logarithmique
- n : numéro du site
- N : nombre total de mesures
- σ : déviation standard logarithmique
- x : valeur mesurée

On constate que sur l'ensemble du canton, les sols des vignes présentent des teneurs en métaux lourds sensiblement plus élevées que les autres types de sols pris en considération qui présentent des teneurs assez comparables.

Ceci est surtout très manifeste pour le cuivre, résultat attendu, si l'on tient compte du traitement des vignes par les sels de cuivre. La teneur moyenne en cuivre, de 147 ppm, est nettement supérieure à la valeur indicative de 50 ppm pour la teneur totale. Il y a lieu d'émettre certaines réserves en ce qui concerne cette valeur indicative.

Il serait certes prématuré et prétentieux de tirer des conclusions hâtives d'une première étude de ce genre. Cependant, on peut émettre certaines hypothèses et commenter l'ensemble du travail.

Il est plausible d'expliquer cette charge relativement élevée des sols de vignes en métaux lourds par des facteurs externes telle que l'utilisation des boues activées d'épuration et des facteurs inhérents au fait que la vigne à racines profondes n'arrive pas à épuiser la totalité de l'apport de métaux de transition en surface.

Dans les sols à culture, par exemple, où la végétation puise dans les couches supérieures ses éléments nutritifs, il serait «normal» de trouver des teneurs plus faibles. Il y a là matière à recherche.

4. CONCLUSION

Il ressort de cette première étude que l'interprétation des résultats sur des moyennes globales, sans tenir compte du type de sol, ne constitue pas une approche pouvant illustrer une évolution quelconque. Nous avons constaté qu'aucune différence n'était apparente entre diverses régions à vocation différentes lorsqu'on procède de la sorte.

Par contre, la différenciation des sols selon des critères communs (bois, vigne, pré, culture) a permis de dégager une image plus informative.

La présente étude répartie sur 132 prélèvements a nécessité un travail réparti sur cinq mois pour un chimiste et un laborant. La méthode d'analyse par absorption atomique avec flamme s'est avérée satisfaisante pour les teneurs totales de six élé-

ments (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) et pour un septième élément (Hg) la méthode par hydrure a fourni des résultats reproductibles. Ces considérations s'appliquent aux teneurs totales.

Il est évident que le dosage dans les extraits des «solubles» ainsi que les autres éléments (Cd, Mo, Tl) nécessite des dosages AA sans flamme, ce qui implique des investissements en temps et financiers plus importants.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Mme S. STASNY pour sa précieuse collaboration technique ainsi que Mme C. SALMON et Mme G. DUMUID pour leur aide appréciée.

BIBLIOGRAPHIE

Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE), du 7 octobre 1983, RS 814.01.

Ordonnance sur les polluants du sol (Osol), du 9 juin 1986, RS 814.12.

GIBSON, M. J. & J. G. FARMER, *Environmental Pollution (Series B) 11*, 117 (1986).

Documenta Geigy. Tables Scientifiques, 6^e édition.

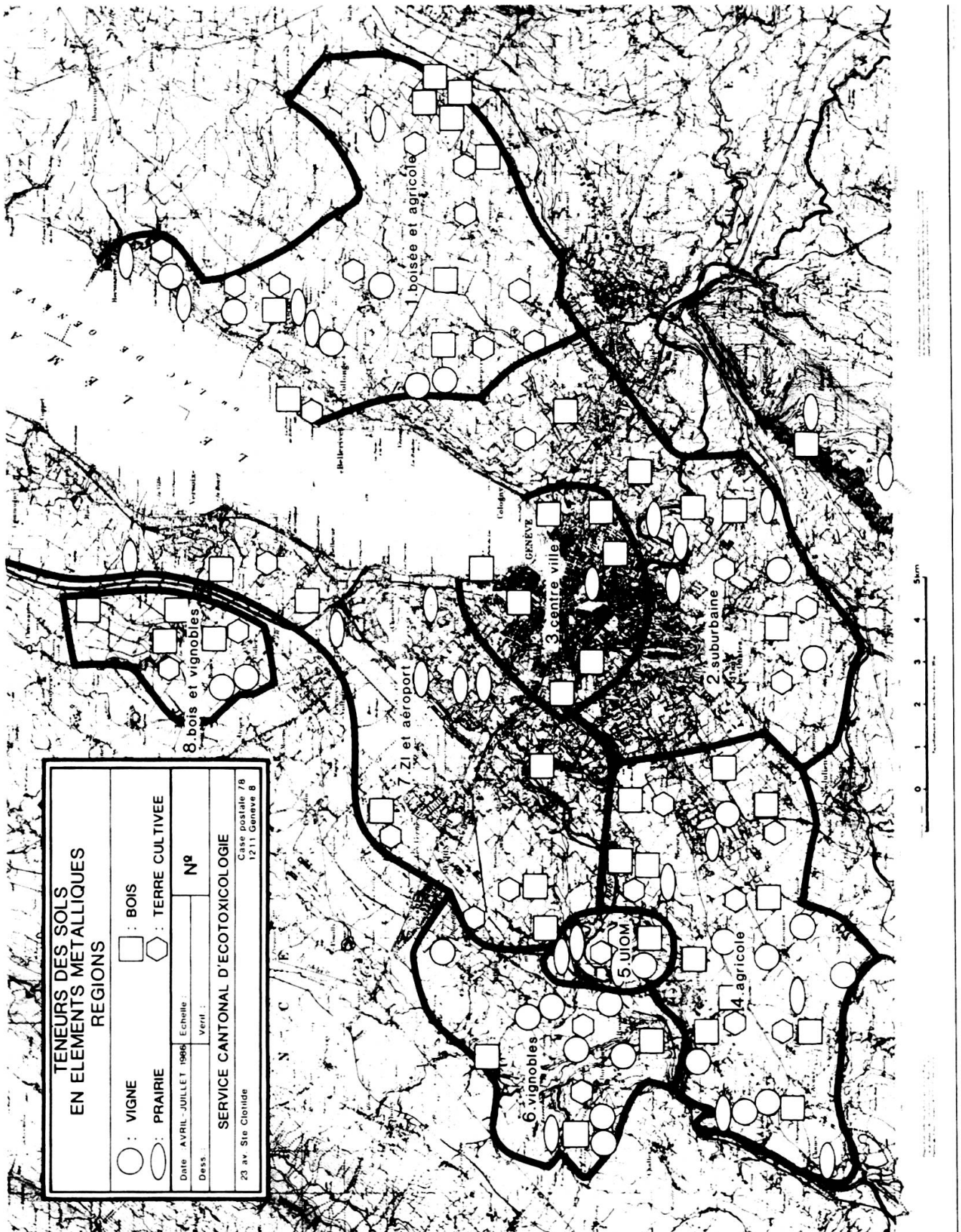


FIG. 1.

Teneur des sols en éléments métalliques «Régions».

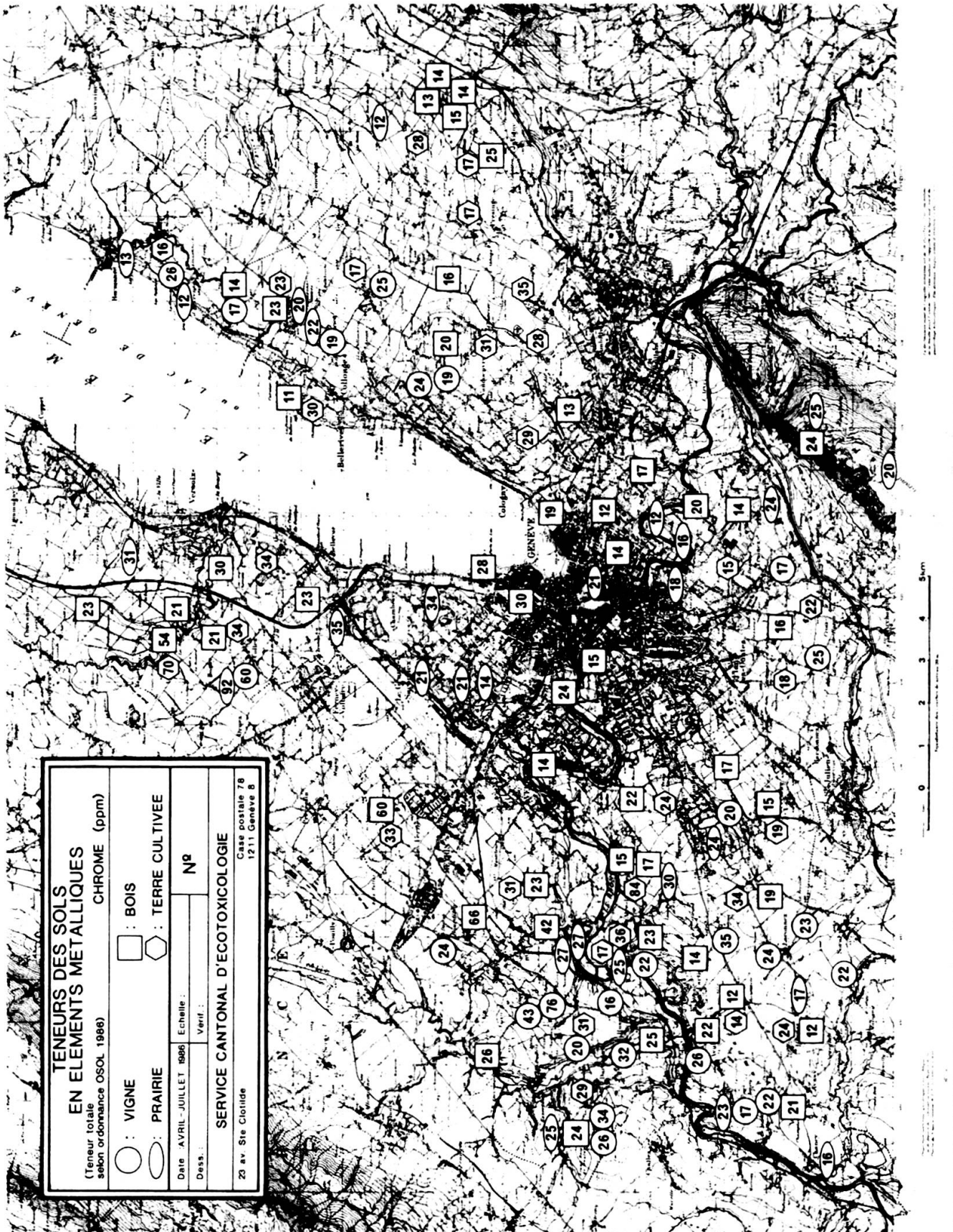


FIG. 2.

Teneur totale des sols en chrome (ppm).

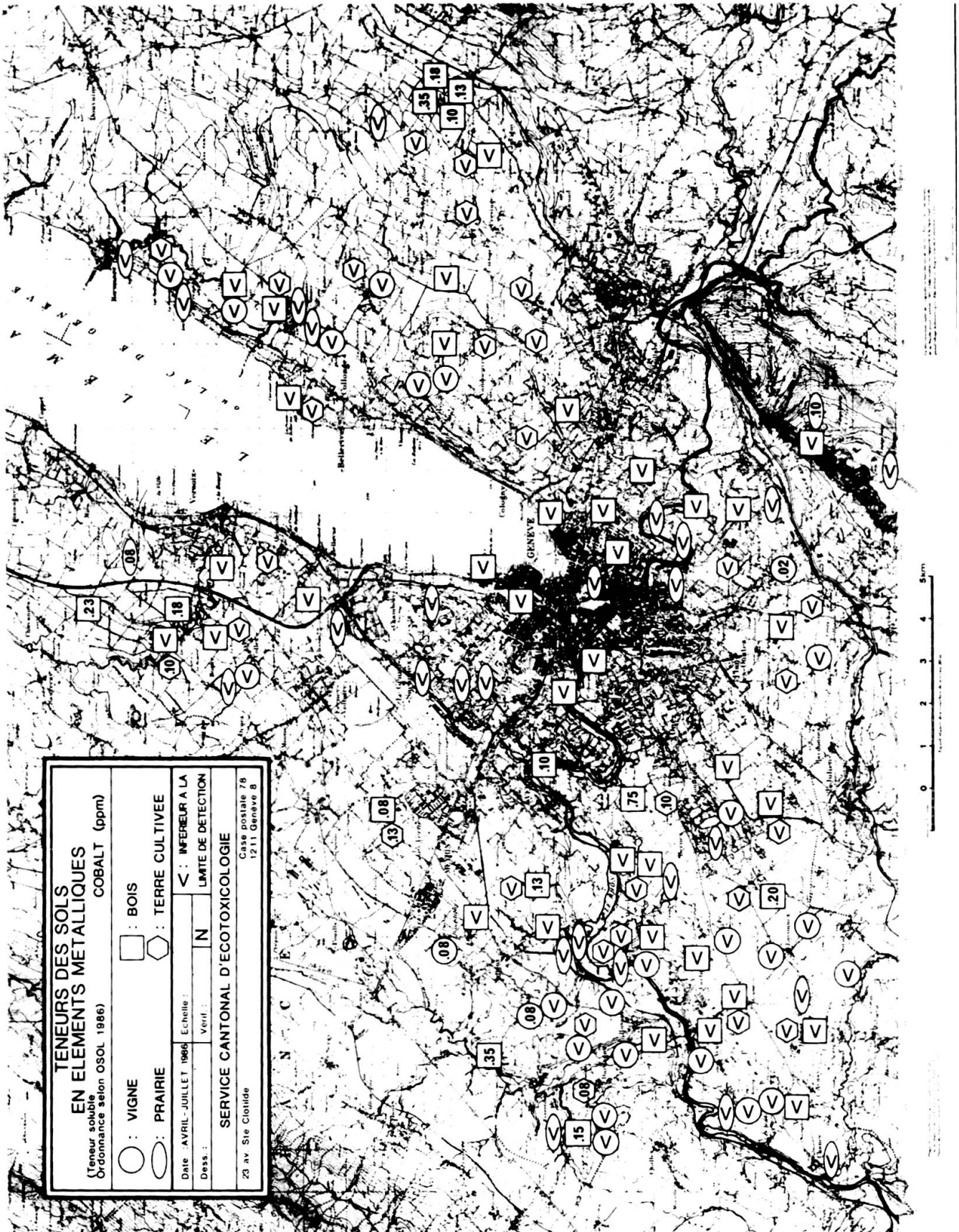


FIG. 3.

Teneur des sols en cobalt (ppm) — fraction soluble.

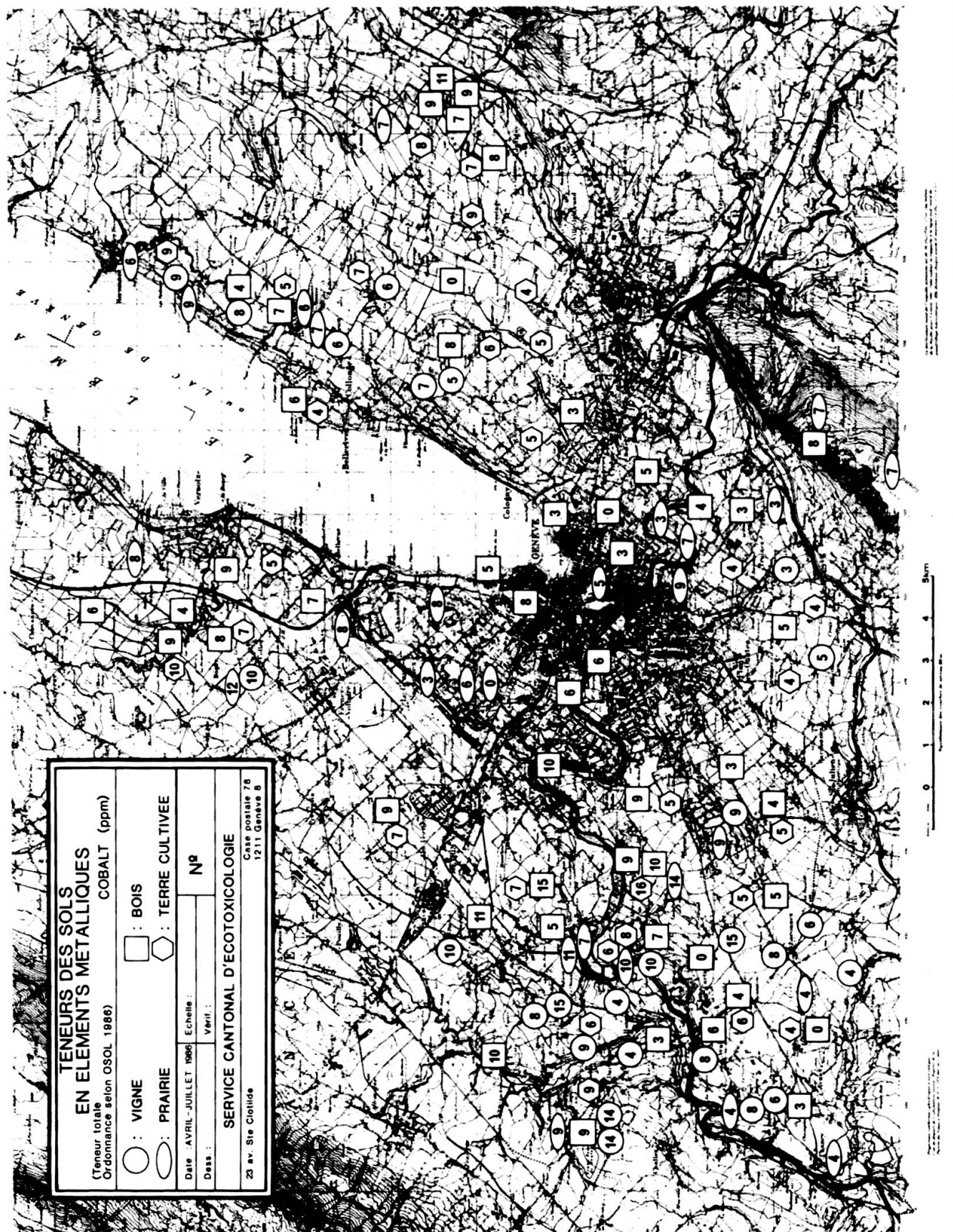


FIG. 4.

Teneur totale des sols en cobalt (ppm).

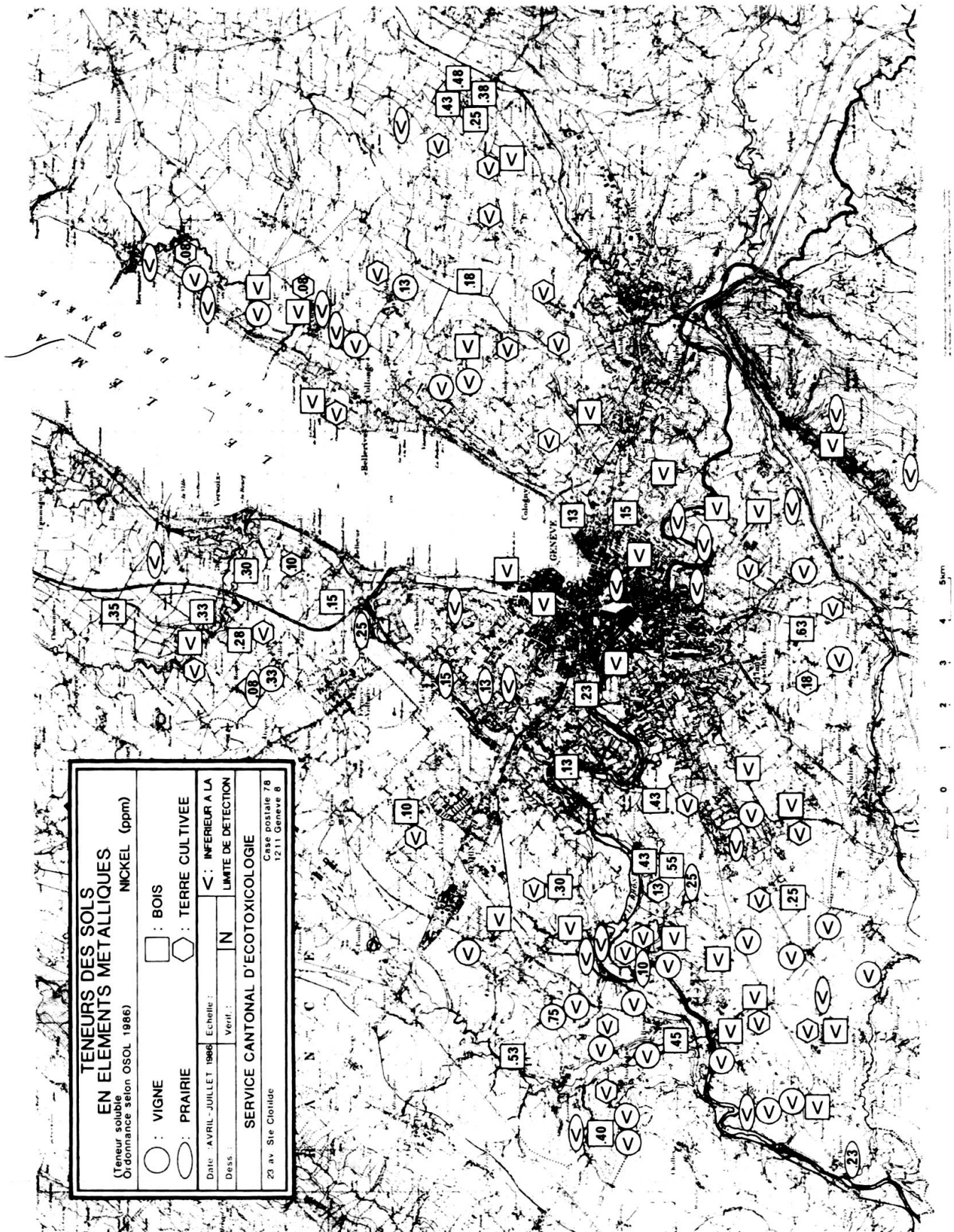


FIG. 5.

Teneur des sols en nickel (ppm) — fraction soluble.

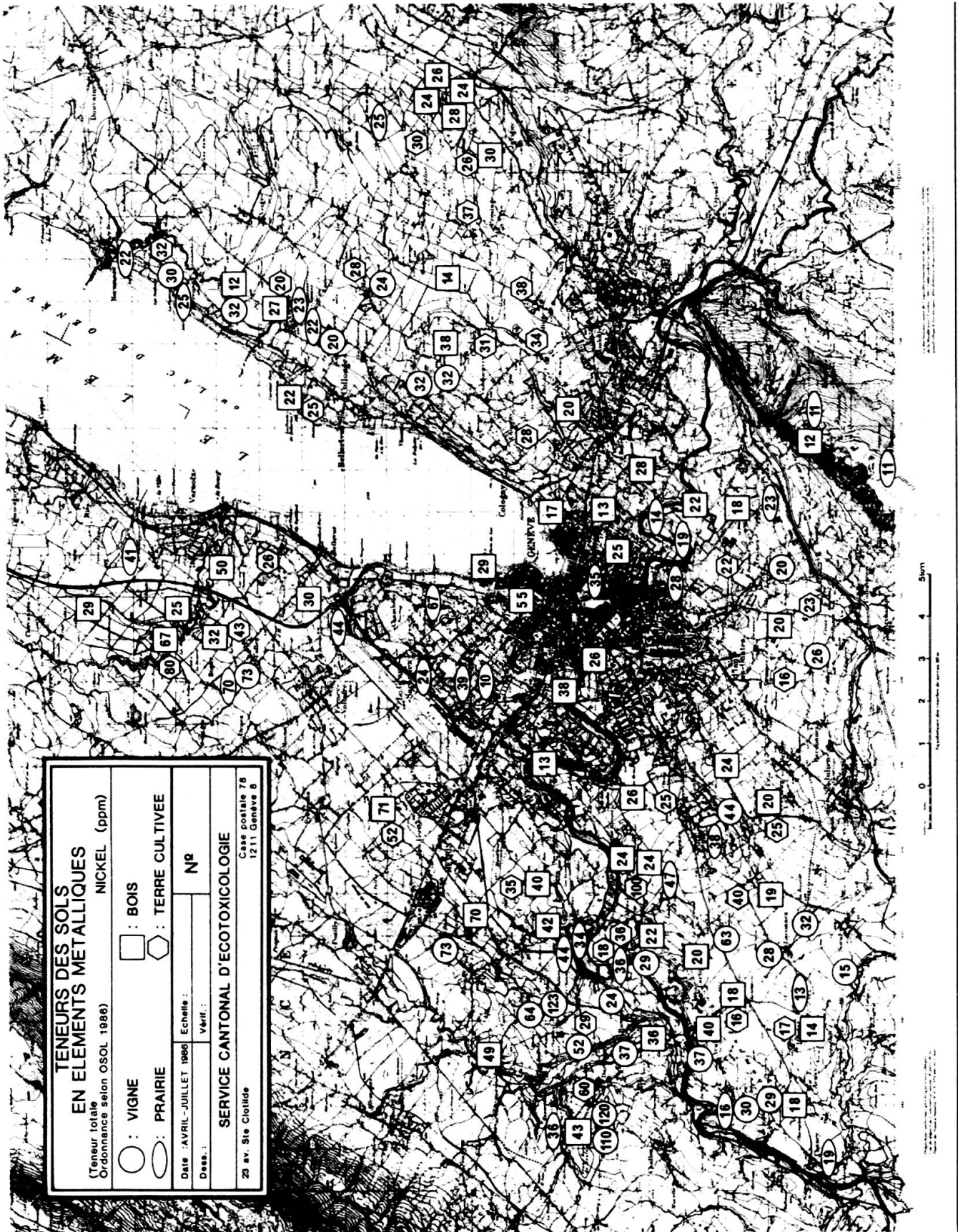


FIG. 6.

Teneur totale des sols en nickel (ppm).

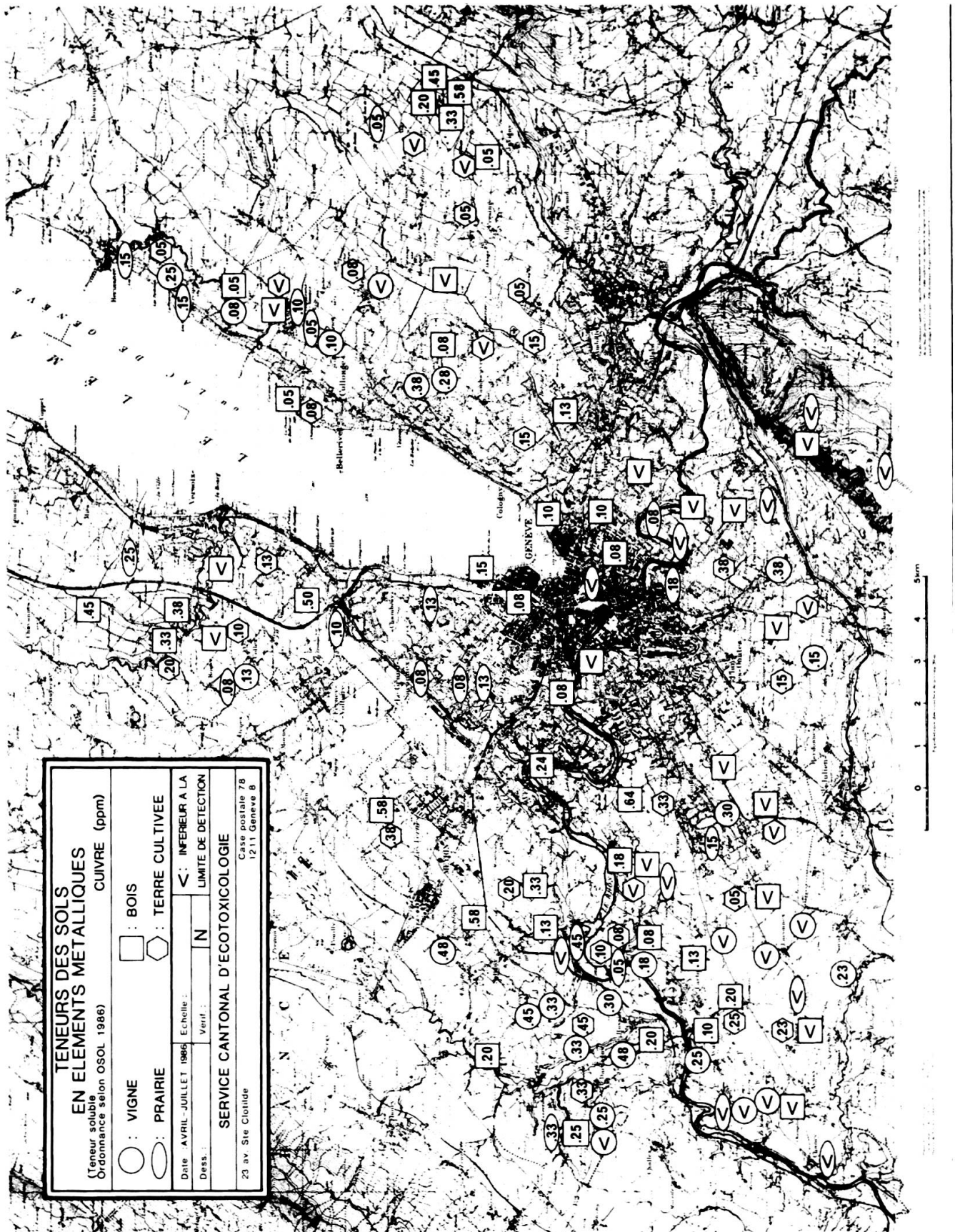


FIG. 7.

Teneur des sols en cuivre (ppm) — fraction soluble.

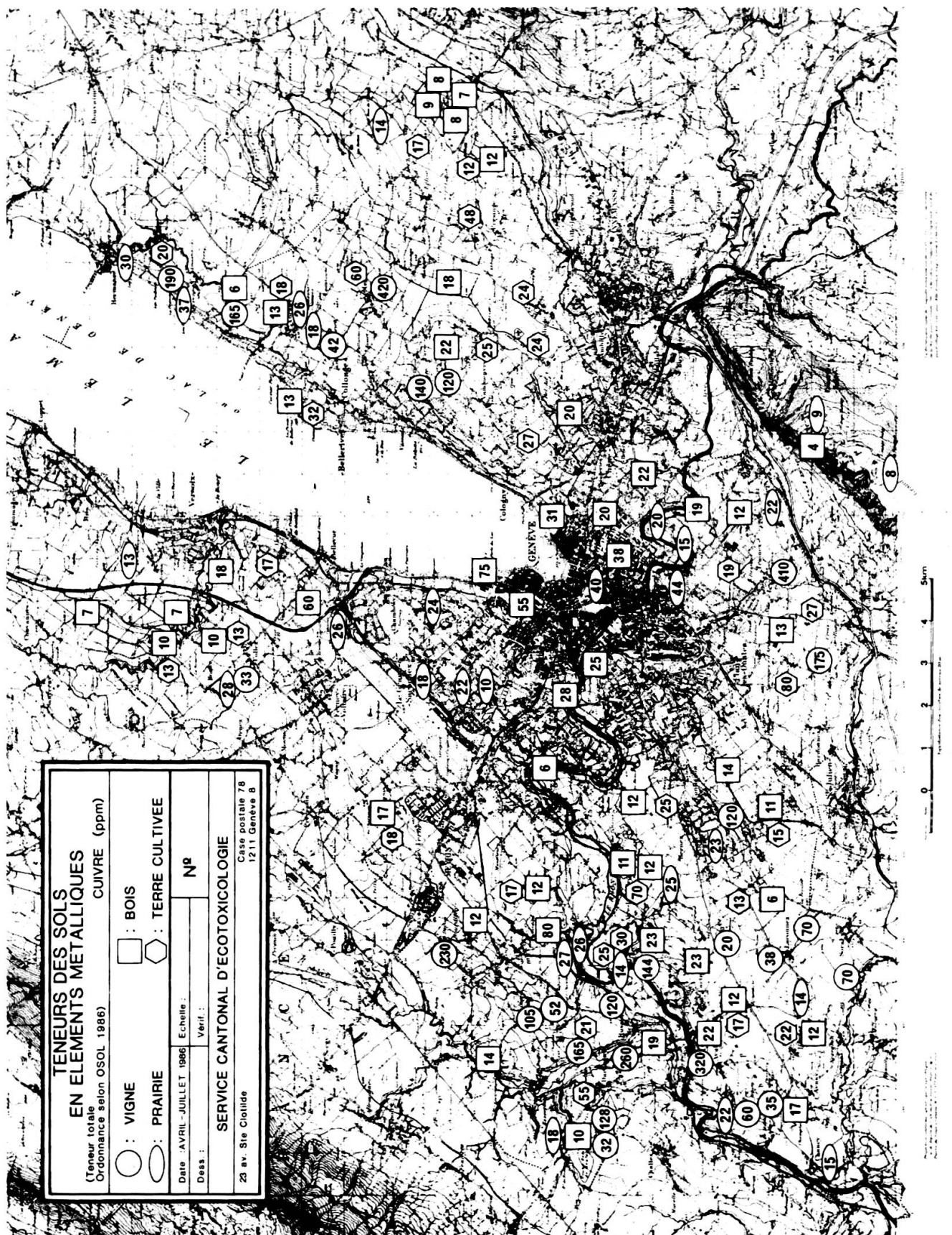


FIG. 8.

Teneur totale des sols en cuivre (ppm).

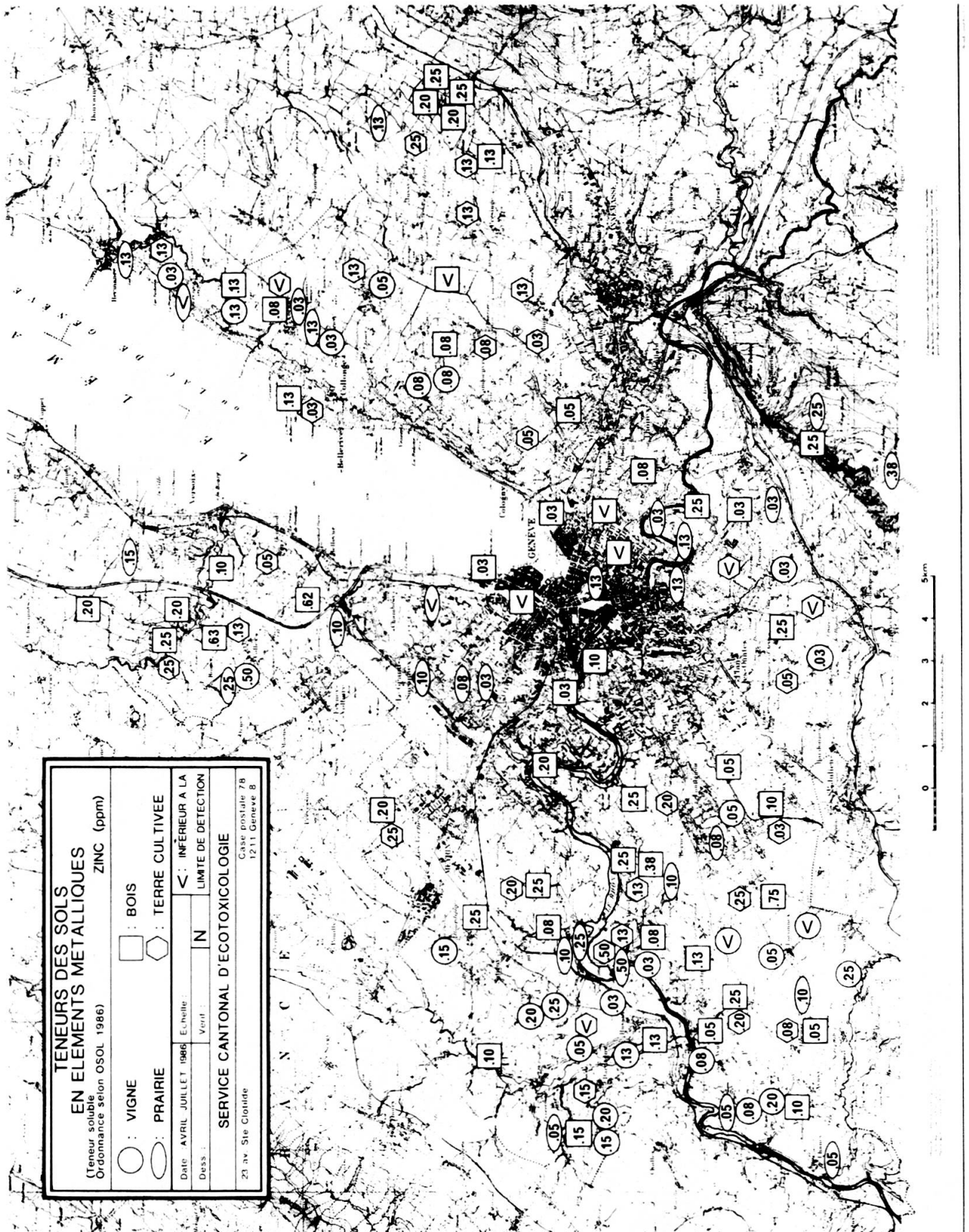


FIG. 9.

Teneur des sols en zinc (ppm) — fraction soluble.

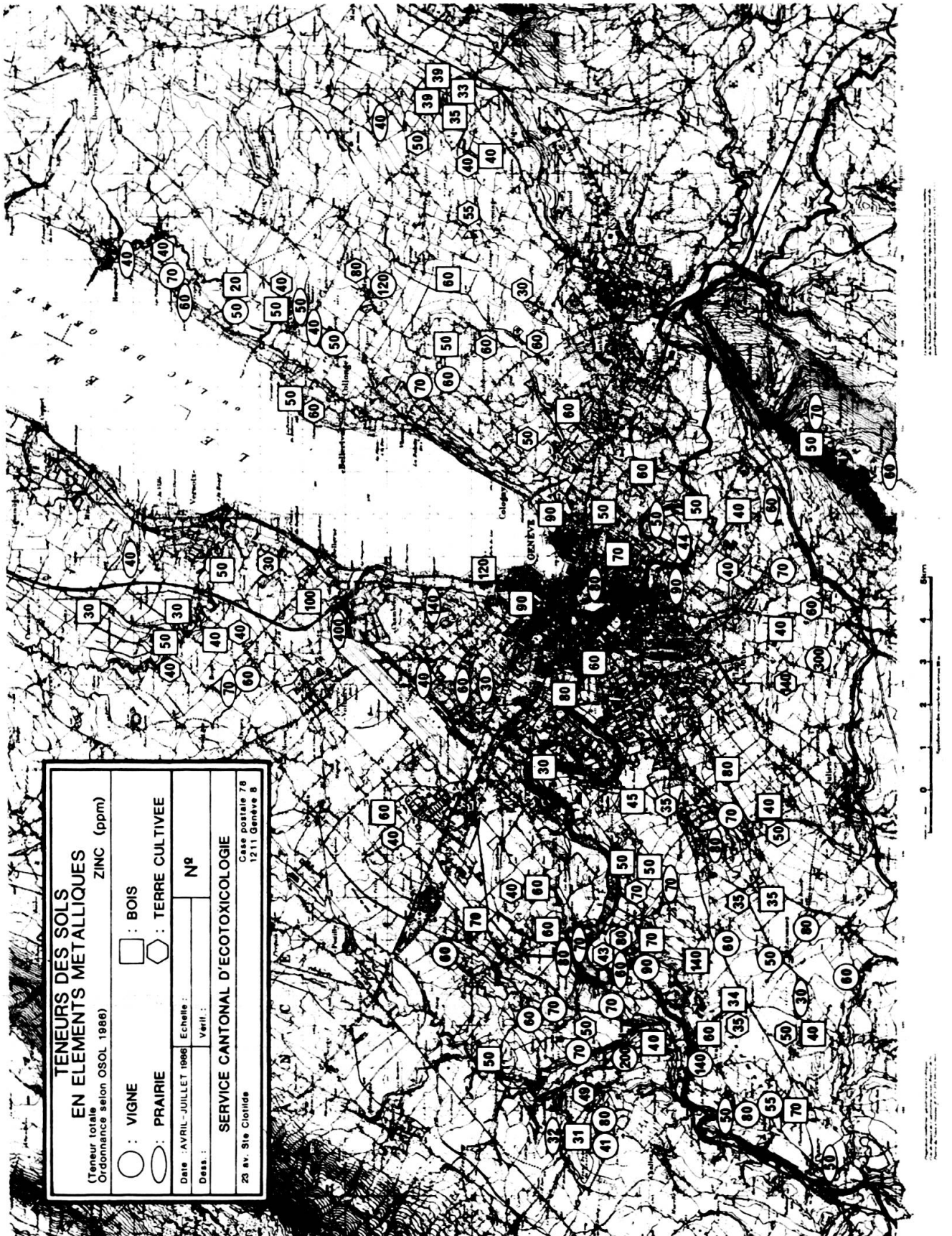


FIG. 10.

Teneur totale des sols en zinc (ppm).

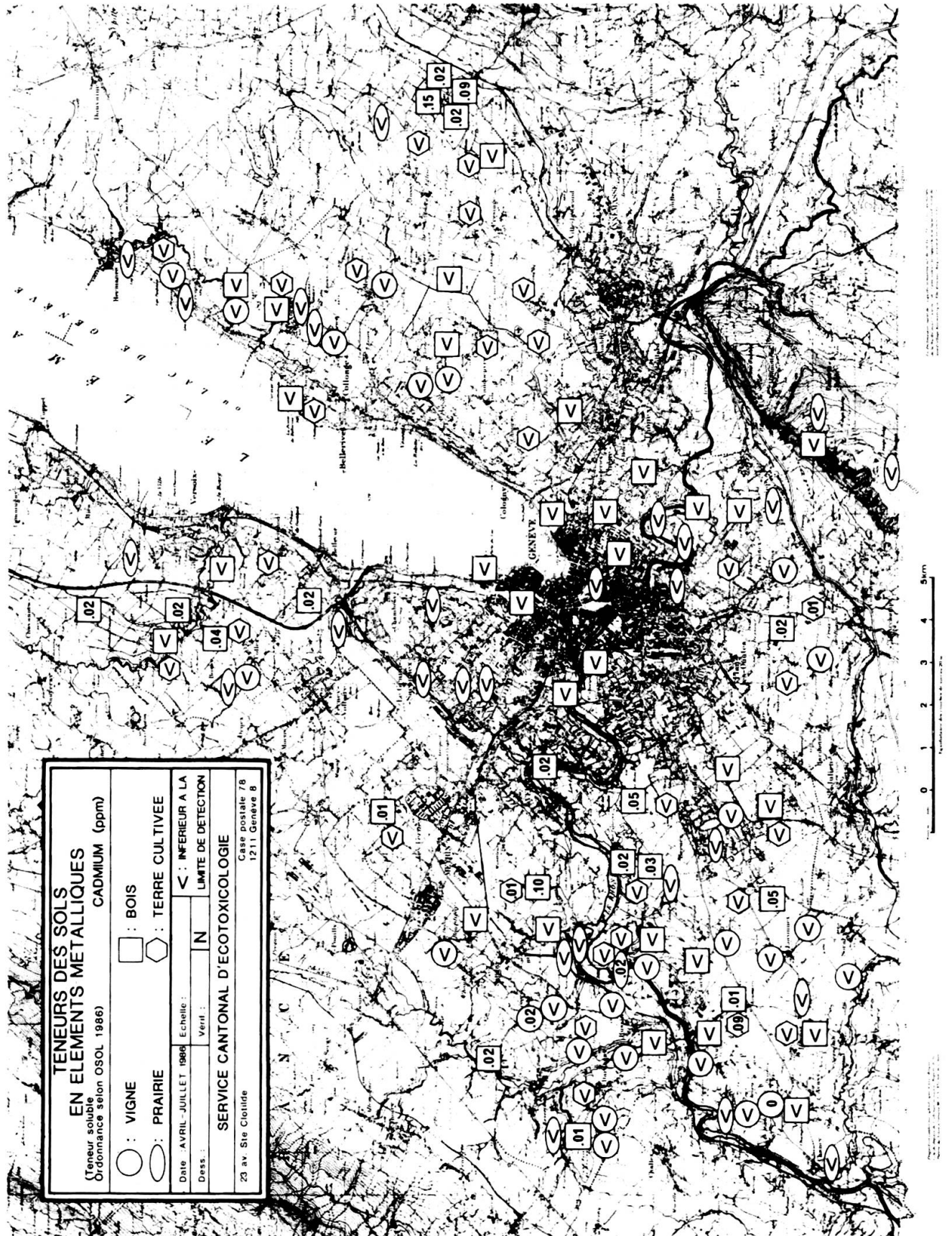


FIG. 11.

Teneur des sols en cadmium (ppm) — fraction soluble.

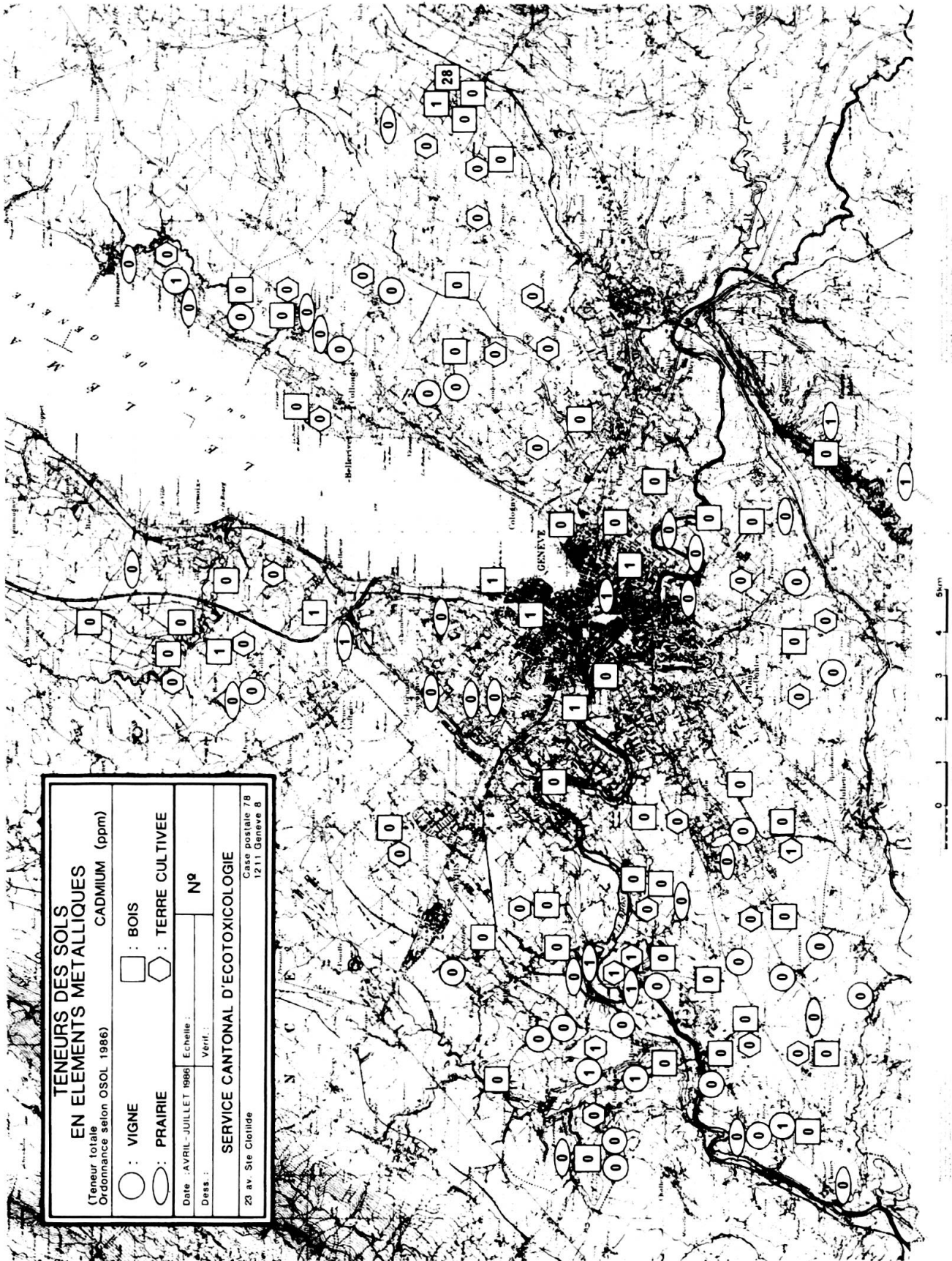


FIG. 12.

Teneur totale des sols en cadmium (ppm).

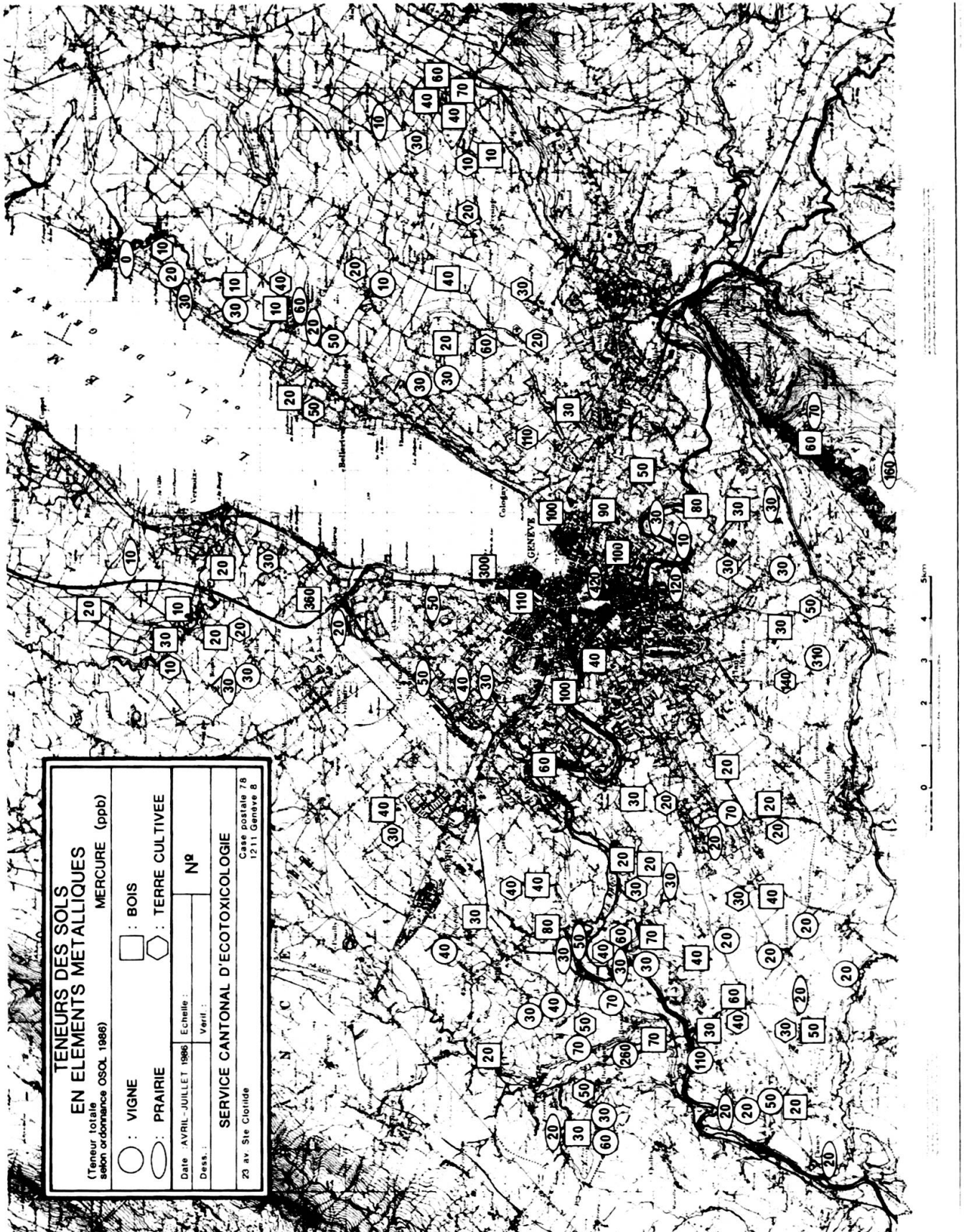


FIG. 13.

Teneur totale des sols en mercure (ppm).

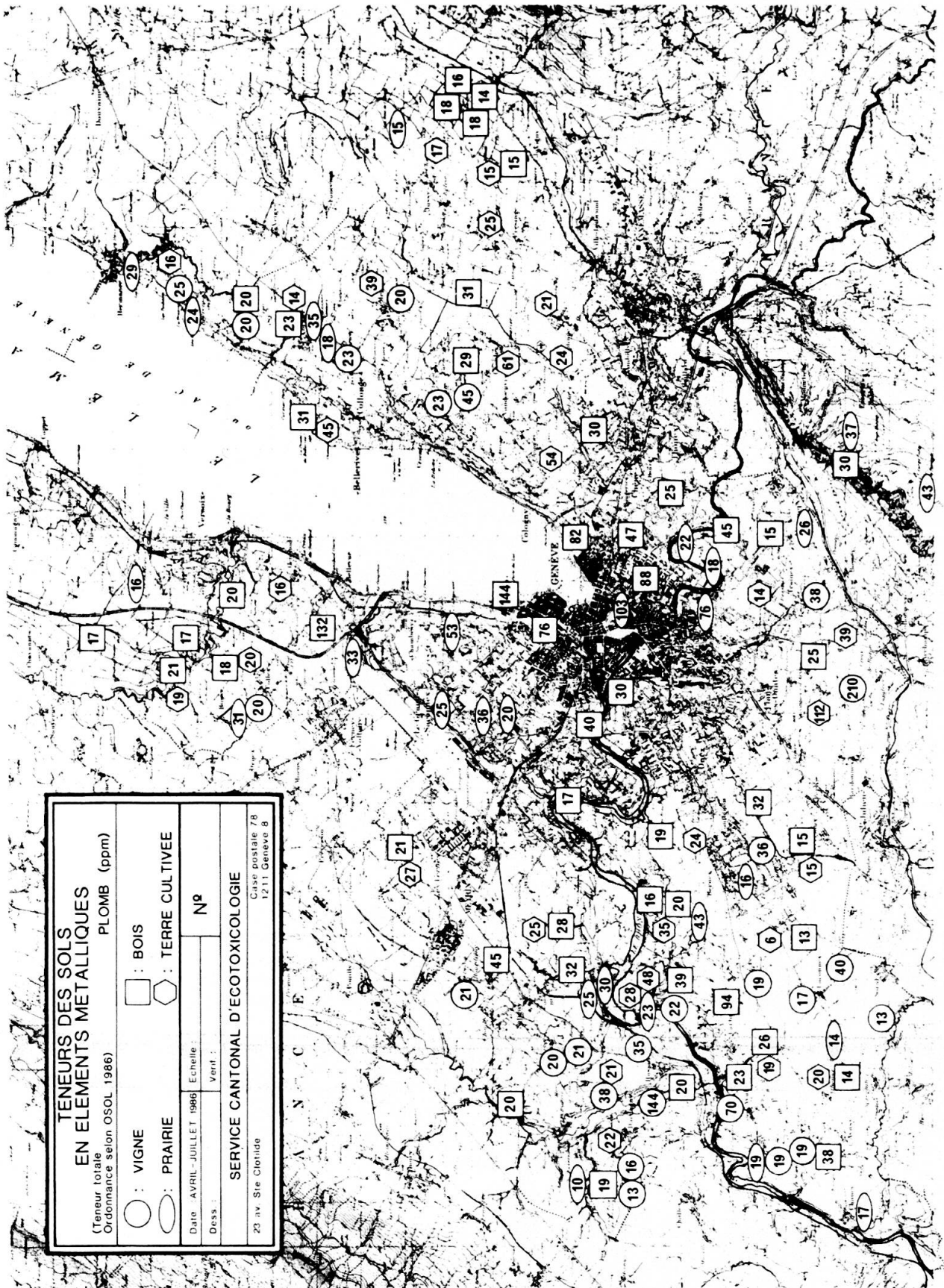


FIG. 14.

Teneur totale des sols en plomb (ppm).

