

AGENCE DE BASSIN RHÔNE – MÉDITERRANÉE – CORSE

NAPPE DE LA CRAU

(Bouches-du-Rhône)

ÉTUDE DES POLLUTIONS

MESURES D'OCTOBRE 1972

RÉSULTATS ET ESSAIS D'INTERPRÉTATION

par

J. LAVIE – J. PUTALLAZ



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Service géologique régional PROVENCE – CORSE

Domaine de Luminy – route Léon-Lachamp, 13009 Marseille

Tél.: (91) 41.26.04 et 41.24.46

73 SGN 068 PRC

Marseille, janvier 1973

R E S U M E

Cette étude est réalisée pour le compte de l'Agence de Bassin Rhône - Méditerranée - Corse. Elle a pour objet l'étude des pollutions de la nappe de la Crau et pour objectif d'obtenir une image hydrochimique de la nappe à un temps t que nous considérerons comme image initiale.

Le présent rapport constitue la deuxième partie de l'étude, rend compte des résultats des analyses et de leur interprétation, et fait état de la qualité de l'eau et des pollutions, qu'elles soient d'origine domestique, industrielle ou agricole.

TABLE DES MATIERES

Résumé		2
Chapitre 1	- INTRODUCTION	8
	11 - Objet du rapport	
	12 - Bref rappel de la première phase d'études	9
Chapitre 2	- CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS	
	ANALYSES ET TRAITEMENTS DES DONNEES	10
	21 - Campagne de prélèvements	
	22 - Méthodes d'analyses et fonctionnement du laboratoire	11
	23 - Traitements des données	12
Chapitre 3	- RESULTATS DES MESURES ET DES ANALYSES	14
	31 - Levé piézométrique	
	32 - Les conductivités	15
	33 - Titre alcalimétrique complet	16
	34 - Les chlorures	17
	35 - Les sulfates	18
	36 - Le calcium	19
	37 - Le magnésium	20
	38 - La dureté totale ou titre hydrométrique	
	39 - Le sodium	22
	310- Le potassium	
	311- L'azote	23
	312- Les hydrocarbures	26

		313- Les matières organiques	27
		314- Les bactéries	
		315- Les détergents	28
		316- Indésirables et toxiques	29
Chapitre	4	- ESSAI DE SYNTHÈSE ET D'INTERPRÉTATION DES RESULTATS	32
		41 - Chimisme des eaux de la nappe Image générale	
		42 - Les pollutions. Essai d'interprétation	34
		421 - Les pollutions domestiques	
		422 - Les pollutions industrielles	39
		423 - Les pollutions agricoles	41
		43 - Situation des captages et qualité des eaux.	42
Chapitre	5	- PROPOSITIONS D'ETUDES COMPLEMENTAIRES	44
Chapitre	6	- PROJET DE RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES EAUX	46
		61 - Implantation d'un réseau de surveillance. Choix des points de prélèvements	47
		62 - Périodicité des prélèvements	48
		63 - Déterminations à effectuer.	
Chapitre	7	- CONCLUSIONS	49
		71 - Chimisme des eaux de la nappe Image générale	
		72 - Influence humaine sur l'altération chimique de la nappe	50
		73 - Propositions d'études complémentaires et projet de réseau de surveillance.	51

LISTE DES DIAGRAMMES

1	- Enveloppe des eaux de Durance	52
2	- Type d'eau de nappe alimentée par les pluies	53
3	- Type d'eau de nappe alimentée par les pluies et les irrigations	54
4	- Type des faciès de la bordure orientale	55
4 bis	- " " " "	56
5	- Montrant le passage de l'amont à l'aval de la décharge de la ville de Marseille	57
6	- Type d'eau au Sud-Est de la décharge de la ville de Marseille	58
6 bis	- " " " "	59
7	- Type des environs de l'étang des Aulnes	60
8	- Type de la zone au Sud de Saint Martin de Crau	61
9	- Type de pollution industrielle et domestique combinée	62
10	- Type de pollution locale domestique ou agricole	63
11	- Type d'effluents	64
12	- Montrant le passage d'amont à l'aval de la décharge de Miramas.	65

LISTE DES CARTES

- 1 - Carte piézométrique
- 2 - Valeurs en conductivité
- 3 - Valeurs T.A.C.
- 4 - Teneurs en chlorures
- 5 - Teneurs en sulfates
- 6 - Teneurs en calcium
- 7 - Teneurs en magnésium
- 8 - Valeurs en TH
- 9 - Teneurs en sodium
- 10 - Teneurs en potassium
- 11 - Teneurs en azote minéral
- 11 bis - Teneurs en nitrites et en azote ammoniacal
- 12 - Teneurs en hydrocarbures

- 13 - Teneurs en matières organiques.
- 14 - Analyses bactériologiques.
- 15 - Teneurs en détergents.
- 16 - Teneur en fer, cuivre, plomb, arsenic. Teneurs en organochlorés.
- 17 - Carte des pollutions.
- 18 - Carte de synthèse. Qualité des eaux.
- 19 - Réseau de surveillance.

A N N E X E - Méthodes d'analyses.

Caractéristiques physiques, chimiques, bactériologiques
des eaux potables.

Chapitre 1

I N T R O D U C T I O N

11 - OBJET DU RAPPORT

Ce rapport constitue la synthèse de la deuxième partie de l'étude de la pollution de la nappe de la Crau, entreprise pour le compte de l'Agence de Bassin Rhône - Méditerranée - Corse.

Il traite du résultat des analyses chimiques, de l'évolution des eaux en fonction de la nature géologique du réservoir et de son environnement, de la qualité des eaux eu égard à la consommation humaine et des pollutions constatées.

Les cartes qui accompagnent ce document donnent une image hydrochimique d'ensemble de la nappe que nous considérerons, à défaut de figures générales antérieures, comme image initiale.

Enfin l'ultime objet de ce rapport est de proposer d'une part un programme d'études complémentaires pour quelques points particuliers où des pollutions ont été constatées et où les connaissances acquises par la présente étude sont insuffisantes, d'autre part un réseau de surveillance de la nappe avec définition de la fréquence des prélèvements.

12 - BREF RAPPEL DE LA PREMIERE PHASE D'ETUDES

Le déroulement de la première phase d'études est expliqué et décrit dans le rapport intitulé " Programme des prélèvements et des analyses" de juillet 1972.

Rappelons simplement que le programme des prélèvements et des analyses a été élaboré après inventaire des sources de pollution, qu'elles soient d'origine domestique, industrielle ou agricole.

Le choix des analyses et de la répartition des points de prélèvement a été fixé sur la base de la documentation rassemblée et sur les connaissances hydrogéologiques de la nappe issues des études antérieures.

En sus des analyses à exécuter en laboratoire, le programme détaillait les observations et mesures à effectuer sur chaque point.

Chapitre 2

CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS

ANALYSES ET TRAITEMENT DES DONNEES

21 - CAMPAGNE DES PRELEVEMENTS

Le maillage des points de prélèvement étant défini à partir du fichier résultant de l'inventaire des ressources hydrauliques de 1962-1964, un nouvel inventaire de ces points a été nécessaire pour reconnaître leur état leur environnement, leur représentativité d'un état recherché, les possibilités de pompage et de rejet des eaux. Il fallait également obtenir l'autorisation de pompage du propriétaire. Une mesure de résistivité et de température était effectuée. Les dimensions du puits (diamètre, profondeur, hauteur d'eau) étaient relevées en vue de calculer le volume d'eau à pomper avant de prendre les échantillons pour analyses. Selon les expériences faites par l'Agence de Bassin Rhône - Méditerranée - Corse dans la plaine de Lyon, il était prouvé qu'on obtenait une bonne représentativité de l'échantillon de la nappe après un pompage équivalent à 1,5 fois le volume d'eau du puits.

Cinq équipes formées d'un technicien et d'un aide technicien y ont participé. Deux d'entre elles étaient équipées d'une pompe centrifuge auto-amorçante pour les puits de moins de 6 mètres et les trois autres de pompes immergées. La campagne a débuté le 19 septembre et s'est terminée le 5 octobre. Cent soixante trois prélèvements ont été effectués dans les puits en 57 journées de travail-équipe.

Après une première journée de mise en train des équipes et du matériel, la moyenne journalière de prélèvements par équipe a été de 3. Par ailleurs 14 prélèvements d'eau superficielle ont complété la série. Leurs positions respectives figurent sur les plans 2 - 16.

Chaque équipe possédait 50 mètres de tuyaux de refoulement pour éviter un recyclage des eaux, le matériel de jaugeage des débits pompés, un thermomètre, un résistivimètre, un pH-mètre, une sonde électrique, un double décamètre lesté, un jeu de flacons dont certains étaient stérilisés pour l'étude bactériologique et une glacière pour la conservation des échantillons.

Les échantillons prélevés selon un programme préétabli étaient rassemblés le soir à Miramas et remis à l'Agence de Bassin qui les transportait au laboratoire de la Société des eaux de Marseille.

Dans les jours qui ont suivi cette campagne, deux puits ont été foncés à l'aval de la décharge de la ville de Marseille, à une distance de 140 et 300 m de front de la décharge. Les pompages pour prélèvement ont eu lieu immédiatement après les pluies des 10 - 13 octobre (180 mm à Saint Martin de Crau), qui ont fortement lessivé les terrains. Les analyses des échantillons prélevés dans de telles conditions représentent donc des teneurs certainement plus élevées que celles d'échantillons types de périodes sèches.

22 - METHODES D'ANALYSES ET FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE

Afin de ne pas surcharger le laboratoire et de lui permettre d'analyser les ions instables dans les délais les meilleurs, c'est-à-dire dans la journée suivant la collecte des échantillons, le laboratoire nous avait demandé de ne pas excéder une moyenne journalière de 15 - 18 échantillons.

Les méthodes d'analyses utilisées par le laboratoire de la Société des eaux de Marseille, la précision obtenue et les seuils de détermination figurent en annexe.

L'analyse des ions majeurs a été faite sur l'ensemble des points. Celle des éléments indésirables, toxiques et bactériologiques n'ont porté que sur un nombre de points limité, en fonction de leurs distances aux sources réelles ou potentielles de pollution.

23 - TRAITEMENT DES DONNEES

Les résultats ont fait l'objet de traitement par analyses normales et par calcul automatique grâce aux programme B.R.G.M. H.Y.C.H. et P.I.P.E.R.

H.Y.C.H. répète les données brutes du bordereau d'entrée, la concentration des anions et des cations en milliéquivalents, le pourcent d'erreurs sur la balance, le calcul des pourcents de milliéquivalents/litre de rapports d'ions, ainsi que les rapports entre les éléments suivants : Ca/Mg, SO_4/Ca , NO_3/K et l'indice d'échange de base.

P.I.P.E.R. est un programme de tracé automatique du diagramme de P.I.P.E.R. Ce diagramme a l'avantage de permettre la représentation de l'analyse d'une eau par un point unique, dont de faire figurer un grand nombre de points, de mettre en lumière et d'expliquer certaines modifications chimiques.

Un troisième programme a permis de faire figurer chaque ion majeur par valeurs classées montantes.

Enfin chaque analyse a été reportée sur diagramme semi-logarithmique H. SCHOELLER - E. BERKALOFF, qui est utilisé pour l'étude hydrochimique des eaux souterraines et plus particulièrement dans :

- le calcul des rapports caractéristiques,
- le classement des eaux souterraines du point de vue de la potabilité,
- la comparaison des eaux entre elles.

Les résultats figurent sur les cartes 2 à 16. Après classement de chaque ion les coupures figuratives ont été choisies pour exprimer la fourchette dans laquelle la majorité des analyses est intégrée et les dispersions par rapport à cette fourchette. Nous aurons des cartes de :

- conductivité en micromho/cm sur l'ensemble des points (carte n° 2),
- T.A.C. (titre alcalimétrique complet) qui représente les bicarbonates en degré français, sur l'ensemble des points (carte n° 3),
- chlorures (Cl^-) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 4),
- sulfates (SO_4^{--}) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 5),
- calcium (Ca^{++}) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 6),
- magnésium (Mg^{++}) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 7),
- titre hydrotimétrique exprimé en degrés français (carte n° 8),
- sodium (Na^+) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 9),
- potassium (K^+) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 10),
- azote (exprimé en NH_4 - NO_2 - NO_3) en mg/l sur l'ensemble des points (carte n° 11),
- azote ammoniacal et nitrites exprimés en mg/l sur 78 points (carte n° 11a),
- hydrocarbures en mg/l sur 98 points (carte n° 12),
- matières organiques en mg/l sur 75 points (carte n° 13),
- eschérichia coli, coliformes sur 78 points (carte n° 14),
- détergent A.B.S. en mg/l sur 75 points (carte n° 15),
- toxiques et indésirables (Fer : 6 - Cuivre : 2 - Plomb : 4 - Arsenic : 4 - Organochlorés : 14 (carte n° 16). Les teneurs en fer, cuivre, plomb et arsenic sont exprimées en mg/l, les organochlorés en microgrammes/litre.

Une carte de synthèse (carte n° 17) montre un essai d'interprétation de l'évolution de l'eau dans son milieu naturel et de l'évolution due aux pollutions industrielles, agricoles ou domestiques.

Le plan n° 18 schématise les zones de bonne transmissivité de la nappe et des qualités des eaux.

Chapitre 3

RESULTATS DES MESURES ET DES ANALYSES

31 - LEVE PIEZOMETRIQUE

Avant chaque prélèvement, une mesure de niveau d'eau a été effectuée de sorte qu'il nous a été possible de dresser un état piézométrique de l'ensemble de la nappe pour la période du 19 septembre au 5 octobre (voir carte n° 1).

Elle présente un certain nombre de traits communs avec les cartes piézométriques antérieures, à savoir :

- l'écoulement radial divergent de Lamanon vers les émergences aval,
- une ligne de partage des eaux selon un axe Eyguières - Etang d'Entressen, une ligne selon un axe Mas de Lanon - Poscros, en passant par l'étang de la Dynamite, enfin une autre au NW de l'aérodrome d'Istres,
- un axe de drainage correspond au couloir oriental de Miramas, un deuxième suivant le couloir central qui prend naissance au dépôt d'ordures de la ville de Marseille et un troisième le long de la gouttière Saint Martin de Crau - Saint Hyppolite - marais des Chanoines.

Les études antérieures ont démontré que les cailloutis de Crau recouvraient un relief assez tourmenté et que leur épaisseur variait de quelques mètres à plus de 50 mètres selon qu'ils ennoient des hauts fonds ou des vallées. Les lignes de partage des eaux correspondent grossièrement aux lignes de hauts fonds et les axes de drainage aux vallées fossiles.

32 - LES CONDUCTIVITES

La conductivité est fonction de la concentration et de la nature des sels dissous. Elle permet d'évaluer rapidement mais approximativement la minéralisation totale d'une eau ($n. \text{ micromho} \times 0,7 = \text{résidu sec mg/l}$).

La législation française (voir annexe) fixe des classes de minéralisation d'eau selon les valeurs de la résistivité électrique exprimées en ohm/cm. Traduites en micromho/cm, unité de la conductivité qui est l'inverse de la résistivité, ces valeurs donnent :

- de 100 à 200 micromho/cm : minéralisation faible,
- de 200 à 333 micromho/cm : minéralisation peu accentuée,
- de 333 à 666 micromho/cm : minéralisation moyenne,
- de 666 à 1000 micromho/cm : minéralisation importante,
- au delà de 1000 micromho/cm : minéralisation excessive.

Ces mêmes normes spécifient que la minéralisation totale ne doit pas excéder 2 grammes par litre.

Les conductivités des eaux de la Durance (370 à 450 micromho/cm) correspondent à une minéralisation moyenne. Celles des eaux de la nappe de Crau sont similaires ou plus élevées, la fourchette variant de 375 à 2000 micromho/cm, et correspondent à la gamme des eaux de minéralisation moyenne à excessive (voir carte n° 2). La majeure partie du domaine est toutefois à classer dans les eaux de minéralisation moyenne à importante.

Les eaux de conductivités les plus faibles, inférieures à 600 micromho/cm, se localisent principalement dans la zone non irriguée des Coussous au Sud et au SW de l'aérodrome d'Istres, ainsi qu'au Nord et à l'Ouest de la décharge de la ville de Marseille.

Les eaux de conductivités supérieures à 1000 micromho/cm, entraînant une minéralisation excessive se rencontrent au Sud et à l'Est

de la décharge de la ville de Marseille, dans le secteur de l'étang de la Dynamite, au Nord et à l'Ouest de la ville de Salon et enfin en quelques points particuliers dont certains comme ceux correspondant aux numéros 993.5.54 - 1019.2.27 et 1019.4.59, relèvent d'une pollution domestique ou agricole locale.

En résumé, la carte des conductivités nous montre :

- une bordure orientale assez minéralisée, en particulier aux alentours de Salon, la minéralisation diminuant vers l'Est,
- une zone centrale légèrement moins minéralisée, exception faite de la zone d'Entressen - décharge de la ville de Marseille et de l'étang de la Dynamite.

La zone des captages principaux, c'est-à-dire la zone couvrant l'ancienne vallée fossile de la Durance appelée "couloir de Miramas" est caractérisée par une conductivité moyenne de 600 à 700 micromho/cm; celle-ci augmente légèrement en bordure orientale à l'approche de la limite miocène constituée de molasses marno-sableuses, gréseuses ou marneuses.

33 - TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (T.A.C.)

Le titre alcalimétrique complet ou alcalinité totale correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et bicarbonates, alcalins-alcalino terreux.

Il est exprimé en degrés français. Un degré français correspond à 0,2 milliéquivalent par litre.

Le T.A.C. des eaux de la Durance varie entre 11,4 et 16,7°. Celui des eaux de la Crau est similaire ou généralement plus élevé et compris dans la majorité des cas entre 15 et 30° (voir carte n° 3).

Il est inférieur à 20° dans la zone centrale au Sud de la N 572 entre le parc de Beaussencq et le couloir de Miramas à l'exception de la zone de l'étang d'Entressen et à l'aval de la décharge de la ville de Marseille.

Le T.A.C. est élevé, supérieur à 25° en bordure des massifs miocènes à l'Est et au NE, au centre dans la zone de l'étang d'Entressen et à l'aval de la décharge de la ville de Marseille, dans le secteur sud de Saint Martin de Crau et de l'étang de la Dynamite, dans la région du Mas de Lanon et en quelques points particuliers qui semblent affectés par une pollution domestique locale.

Le couloir de Miramas possède un T.A.C. compris entre 13,5 et 28°, la moyenne se situant entre 20 et 25°. Les valeurs les plus élevées se situent sur la bordure orientale.

34 - LES CHLORURES

Le seuil des teneurs maximales souhaitables fixé par la législation française et par les normes américaines (voir annexe) est de 250 mg/l.

L'O.M.S. recommande comme limite approximative 350 mg/l. Selon J. RODIER⁽¹⁾, cette quantité peut être assez largement dépassée et atteindre 900 mg sans autre inconvénient qu'un goût désagréable. Dans les zones industrielles et urbaines, elle peut être un indice de pollution par les eaux usées.

Les teneurs observées en Durance s'échelonnent entre 20 et 30 mg/l. En Crau la majorité des points (60 %) ont une teneur comprise entre 15 et 30 mg/l et 27 % des teneurs comprises entre 30 et 50 mg/l (voir carte n° 4). Elles sont généralement basses et seuls les deux points à l'aval de la décharge de la ville de Marseille dépassent le seuil des teneurs maximales souhaitables de 250 mg/l. Par ailleurs la zone environnant l'étang d'Entressen présente des valeurs assez élevées de l'ordre de 30 à 100 mg/l. L'influence de cette zone, conjuguée à celle de la décharge de la ville de Marseille, se fait sentir jusqu'à son exutoire aval, le long de l'axe de drainage du couloir central.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau - DUNOD 1960.

Des teneurs supérieures à la moyenne apparaissent aux environs de Salon, sur la bordure orientale et dans la région de Saint Martin de Crau - Etang de la Dynamite.

Le couloir de Miramas présente des teneurs de 20 - 30 mg/l.

35 - LES SULFATES

Le seuil des teneurs maximales souhaitables fixé par la législation française, par les normes américaines (voir annexe) est de 250 mg/l. Selon J. RODIER⁽¹⁾, l'organisme est capable de supporter des doses plus élevées, mais la teneur en sulfates doit être reliée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation. Suivant ceux-ci et suivant l'ordre de tolérance des consommateurs, les sulfates sont susceptibles de provoquer des troubles gastriques.

Les teneurs des eaux de Durance varient entre 72 et 116 mg/l. Les eaux de Crau ont des teneurs comprises entre 38,7 et 631,7 mg/l, la moyenne étant située entre 80 et 150 mg/l (voir carte n° 5).

Les teneurs les plus faibles se rencontrent au Sud et au SW de l'aérodrome d'Istres, les valeurs les plus élevées au Sud de l'étang d'Entressen, à l'aval de la décharge de la ville de Marseille, dans le secteur de l'étang de la Dynamite, aux alentours de Salon et le long de la bordure orientale de la Crau.

Dans le couloir de Miramas, les valeurs moyennes se situent entre 80 et 130 mg/l.

On notera que la valeur la plus forte provient de l'étang de la Dynamite dans lequel sont rejetés des effluents industriels.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau.
DUNOD 1960.

36 - LE CALCIUM

Le calcium est un élément de la dureté. Il existe à l'état de bicarbonates et en quantité moindre sous forme de sulfates, chlorures, etc...

Selon J. RODIER⁽¹⁾, les eaux potables de bonne qualité renferment 100 à 140 mg/l de Ca, les eaux dépassant 200 mg de calcium présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et l'alimentation des chaudières. Pour la santé humaine les recherches ont montré qu'il n'y avait aucune relation entre certaines affections et la teneur de cet élément dans l'eau. Les quantités susceptibles d'être ingérées en boisson sont inférieures aux quantités nécessaires à l'organisme, estimées approximativement de 0,7 à 1 g/j.

Les teneurs des eaux de Durance sont comprises entre 65 et 95 mg/l. En Crau, les teneurs varient entre 49 et 282 mg/l, maximum atteint par le point 993.7.A, à l'aval de la décharge de la ville de Marseille. Les teneurs moyennes oscillent entre 80 et 135 mg/l (voir carte n° 6).

Les valeurs les plus élevées se rencontrent :

- au NE de la Crau et aux alentours de la ville de Salon,
- à l'aval de la décharge de la ville de Marseille et de l'étang d'Entressen
- au Sud de Saint Martin de Crau et dans le secteur de l'étang de la Dynamite,
- en quelques points particuliers.

Le couloir de Miramas a des valeurs oscillant entre 63 et 134 mg/l. Les valeurs les plus élevées se trouvent généralement sur la bordure orientale.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. DUNOD
1960

37 - LE MAGNESIUM

La législation française (voir annexe) estime qu'il est souhaitable de ne pas dépasser 125 mg/l. Le magnésium comme le calcium est un élément de la dureté; il ne provoque pas de phénomènes toxiques, mais les sels de magnésium ont un effet laxatif qui diminue assez rapidement avec l'accoutumance. L'interprétation des taux de magnésium doit se faire en liaison avec les sulfates. Aussi l'O.M.S. conseille de ne pas tolérer plus de 30 mg par litre si l'eau contient en même temps environ 250 mg par litre de sulfates.

En Durance les valeurs observées s'échelonnent de 5 à 12 mg par litre. En Crau, (voir carte n° 7) elles oscillent entre 5 et 67 mg/l. La valeur la plus élevée est rencontrée au point 993.7.31, au bord de l'étang d'Entressen où la teneur en sulfate est de 467 mg/l. Seuls deux autres points, le 994.5.8 et le 993.7.A (aval décharge de la ville de Marseille) dépassent le seuil de recommandation de l'O.M.S.

Les eaux de la Crau restent en majeure partie en-dessous d'une teneur de 30 mg par litre.

Dans le couloir de Miramas, les valeurs oscillent entre 6 et 37,7 mg/l, la majeure partie des points est groupée dans une fourchette de 15 à 25 mg/l.

38 - LA DURETE TOTALE OU TITRE HYDROTIMETRIQUE (T.H.)

La dureté de l'eau est presque entièrement due aux sels de calcium et de magnésium. D'autres éléments, fer, manganèse, aluminium, baryum, strontium... modifient la dureté à concentration suffisante, mais pour les eaux normalement minéralisées, leur influence peut être négligée.

Par conséquent, le titre hydrotimétrique désigne la teneur globale de l'eau en sels de calcium et de magnésium.

En France, il est exprimé en degrés français par de nombreux professionnels (d° H).

La réglementation française (voir annexe) souhaite que le degré hydrotimétrique ne dépasse pas 30°. Selon J. RODIER⁽¹⁾ on a :

- des eaux de bonne qualité jusqu'à 15°, soit 3 milliéquivalents,
- des eaux de qualité acceptable jusqu'à 50°, soit 10 milliéquivalents,
- des eaux d'utilisation difficile (à adoucir) au-dessus de 60°, soit 12 milliéquivalents.

Les eaux de Durance ont une dureté de 20 à 26°. En Crau, la dureté varie de 21,4 à 88,5°; la teneur maximale est rencontrée dans le puits n° 993.7.A, à l'aval de la décharge de la ville de Marseille (voir carte n° 8).

La moyenne oscille entre 25 et 35°, et représente des eaux de qualité acceptable quoique un peu dures. Les valeurs augmentent :

- en bordure des massifs miocènes et principalement aux alentours de Salon,
- à l'aval de la décharge de la ville de Marseille et dans le secteur de l'étang d'Entressen,
- à l'aval de Saint Martin de Crau, dans la zone de l'étang de la Dynamite et de l'étang des Aulnes,
- en quelques autres points particuliers.

Dans le couloir de Miramas, la majorité des points de mesure oscille entre 30 et 35°, les teneurs ont tendance à augmenter à l'approche de la bordure orientale du couloir.

Les mesures les plus faibles se trouvent dans la zone des Coussous au Sud et SW de l'aérodrome d'Istres.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau.
DUNOD 1969.

39 - LE SODIUM

Le sodium est un élément constant de l'eau et les concentrations peuvent être extrêmement variables. Selon J. RODIER⁽¹⁾, il n'y a pas de danger, sauf pour certains malades, dans l'absorption de quantités relativement importantes. Les quantités dosées, doivent cependant être reliées aux teneurs en sulfates et chlorures à cause du goût et de l'action laxative.

Les teneurs observées en Durance varient entre 10 et 22 mg/l. En Crau (voir carte n° 9), la grande majorité des points se situe entre 5 et 25 mg/l. Seuls 20 points (environ 12 %) ont des teneurs supérieures à 30 mg/l; ils se répartissent comme suit :

- aux alentours de Salon,
- au Sud de la décharge de la ville de Marseille, et de l'étang d'Entressen,
- à l'étang de la Dynamite (valeur maximale observée avec 186 mg/l),
- en quelques points particuliers.

C'est au Sud et au SW de l'aérodrome d'Istres que se rencontrent les valeurs les moins élevées.

Dans le couloir de Miramas, les valeurs oscillent entre 10 et 18 mg/l.

Comme les chlorures, le sodium est un bon traceur des pollutions et l'influence de la décharge de la ville de Marseille et de la zone de l'étang d'Entressen se prolonge dans l'axe de drainage central jusqu'à l'exutoire aval de la nappe.

310 - LE POTASSIUM

Le potassium est un élément à peu près constant de l'eau. Les quantités trouvées sont habituellement très largement inférieures aux teneurs en sodium. Selon J. RODIER⁽¹⁾, cet élément ne présente pas d'inconvénients pour la santé.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. DUNOD 1960.

Les valeurs observées dans les eaux de la Durance sont basses et varient de 1,1 à 1,5 mg/l. En Crau, (voir carte n° 10) la majorité des points, soit 64,5 % des valeurs, se situe entre 0 et 2,5 mg/l. Entre 2,5 et 10 mg/l on trouve 26 % des valeurs, entre 10 - 40 mg/l, 7 %, et au dessus de 40 mg/l 2,5 %. La valeur maximale rencontrée est de 87,2 mg/l sur le point 1019.4.59 à l'aval du barrage de Fanfarigoule, en limite de Crau et de la zone de l'étang de Lavalduc.

Le potassium peut être un traceur des pollutions agricoles en cas d'emplois massifs d'engrais potassiques et de pollutions domestiques créées par les eaux usées et les décharges d'ordures.

Les zones à concentration les plus élevées, au-dessus de 5 mg/l se trouvent :

- aux alentours de la ville de Salon,
- au Sud de la décharge de la ville de Marseille et de l'étang d'Entressen,
- au Sud de Saint Martin de Crau et aux environs des étangs des Aulnes et de la Dynamite,
- en quelques points particuliers.

Dans le couloir de Miramas, les teneurs en potassium, sauf en un point, sont inférieures à 5 mg/l.

311 - AZOTE (exprimé en NH_4 - NO_2 - NO_3)

L'ammoniaque est assez souvent rencontrée dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Sa présence est à rapprocher des autres éléments azotés identifiés dans l'eau : nitrites et nitrates, et des résultats de l'analyse bactériologique. Une eau potable (J. RODIER⁽¹⁾) ne devrait pas renfermer plus de 0,5 mg/l d'azote ammoniacal. La présence d'ammoniaque dans l'eau peut entraîner le développement de certains germes donnant des goûts désagréables.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau - DUNOD 1960.

La législation française note que certaines eaux profondes ferrugineuses peuvent être d'excellente qualité bactériologique et renfermer des doses relativement élevées d'ammoniaque. Elle ne condamne pas à priori, une eau qui contient de l'ammoniaque.

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux, mais généralement à doses faibles. Ils proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

Ainsi il a été constaté en Allemagne (CEBEDEAU⁽¹⁾), que la présence de nitrites semble être un des indices chimiques les plus caractéristiques de la pollution d'une nappe par l'essence. Dans le sol, l'essence est décomposée par oxydation qui s'effectue d'abord par l'oxygène libre normalement présent, puis par l'oxygène emprunté aux nitrates. Ceux-ci disparaissent et sont transformés en nitrites.

Selon J. RODIER⁽²⁾, une eau qui renferme des nitrites doit être considérée comme suspecte. Pour l'interprétation, il est nécessaire de tenir compte des teneurs en nitrates, en ammoniaque, en matières organiques et de l'examen bactériologique.

La législation française (voir annexe) relève qu'il semble qu'une teneur d'azote nitreux supérieure à 0,1 mg/l puisse faire soupçonner un apport d'eaux riches en matières organiques en voie d'oxydation. Cette concentration ne devrait pas être dépassée en eau profonde.

Les eaux de distribution (J. RODIER⁽²⁾) ont généralement des teneurs peu élevées en nitrates. Il n'en est pas de même dans les campagnes où l'on peut trouver des eaux de puits avec des teneurs relativement élevées. Les nitrates ont généralement pour origine une nitrification de l'azote organique, mais il peut se faire qu'ils soient en liaison avec les teneurs en nitrates des terrains traversés. Il a été signalé aux U.S.A.

(1) - CEBEDEAU - Livre de l'eau volume III.

J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. DUNOD 1960

et en Europe que l'eau chargée en nitrates employée pour la préparation des biberons de lait en poudre était susceptible de faire apparaître des troubles chez les nourissons.

La législation française (voir annexe) estime qu'une teneur en nitrates supérieure à 44 mg/l, soit une teneur en azote (N) de 10 mg/l, doit être considérée comme exagérée.

L'analyse des nitrates a été exécutée sur l'ensemble des échantillons, celle des nitrites et de l'ammoniaque sur 78 échantillons choisis en fonction des résultats des enquêtes préliminaires. Seuls trois échantillons ont révélé à la fois la présence de nitrites et d'ammoniaque, 5 de nitrites et 3 de NH_4 seuls.

La carte n° 11 donne les concentrations en azote N, les teneurs étant exprimées en NH_4 - NO_2 et NO_3 . Excepté pour les 11 échantillons où des teneurs en ammoniaque ou nitrites ont été décelées, la teneur en N est celle contenue dans NO_3 . La carte n° 11 indique par ailleurs les valeurs des teneurs en nitrites et en ammoniaque lorsque ceux ci ont été analysés.

L'ammoniaque figure en 6 points. Les valeurs varient de 0,3 à 16,6 mg/l; elles ne dépassent pas 0,4 mg/l, sauf en aval de la décharge de la ville de Marseille où sur 3 points, le 993.7.A, B et 10, on a des teneurs élevées de 2,1 - 4,5 et 16,6 mg/l.

Les nitrites figurent en 8 points et les valeurs varient de 0,1 à 4,8 mg/l, la teneur maximale venant de l'étang de la Dynamite.

En Crau, les teneurs en nitrates varient de 0 à 200 mg/l. En Durance, elles sont comprises entre 1,5 et 3 mg/l. La concentration maximale (200 mg/l) provient du point 993.6.91, près de l'étang de la Dynamite. La grande majorité des valeurs, soit 90 % est inférieure à 15 mg/l. Leur répartition est la suivante : 47 % est inférieur à 5 mg/l et rencontré principalement dans les zones où la nappe est alimentée

essentiellement par les pluies, 43 % est compris entre 5 et 15 mg/l et distribué sur la bordure orientale de la Crau et dans les zones irriguées ou à leur aval hydraulique. L'image d'une concentration des nitrates à partir des surfaces cultivées et irriguées demeure cependant assez floue car les engrais sont répandus surtout au printemps. Il y a d'une part assimilation par les plantes et d'autre part dilution par déplacement des filets liquides.

312 - LES HYDROCARBURES

La réglementation française (voir annexe) exige l'absence d'odeurs et de goût. Selon J. RODIER⁽¹⁾, pour certaines essences de pétrole l'odeur et le goût sont sûrement perceptibles pour une partie d'essence dans 750.000 parties d'eau. La limite de perception est environ de 0,02 partie par million pour de l'essence auto, tandis que pour l'huile de graissage, elle est de 25 parties par million.

Sur 92 analyses effectuées en Crau, les teneurs varient de 0,02 à 0,26 mg/l, dont cinq seulement dépassent 0,2 mg/l (voir carte n° 12).

Un essai de corrélation entre l'équipement des puits, l'aspect (tâche d'huile à la surface de l'eau) et la teneur en hydrocarbures a été tenté pour voir s'il y avait relation entre équipement, aspect et pollution. Or aucun fil directeur n'a pu être dégagé de cette analyse. Tout au plus peut-on signaler que les puits n° 1019.4.6. et 1019.7.12 qui ont des teneurs respectives de 0,24 et 0,22 mg/l portaient des traces d'huile à la surface de l'eau, mais le 1019.3.6 en porte également et ne contient que 0,06 mg/l.

Dans le couloir de Miramas, les teneurs moyennes varient entre 0,05 et 0,15 mg/l. Sur les cinq valeurs au-dessus de 0,2 mg/l, quatre sont localisées dans la partie aval du couloir.

(1) - J. RODIER - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. DUNOD 1960

313 - LES MATIERES ORGANIQUES (M.O.)

Il n'est pas possible de doser véritablement les matières organiques que renferment les eaux. On se fait, par test, une idée de la quantité de ces matières. Les résultats exprimés en mg, sont les quantités d'oxygène enlevées au permanganate de potassium par les matières organiques d'origine végétale ou animale contenues dans un litre d'eau.

Selon DEGREMONT 1972⁽¹⁾, la signification hygiénique de ces substances n'est pas bien définie et il n'est pas nécessairement dangereux pour la santé de consommer une boisson qui en contient beaucoup.. Il faut faire preuve de prudence dans l'interprétation des teneurs en matières organiques et le résultat de celle-ci doit toujours être comparée à celui de l'examen bactériologique.

Il n'est pas inutile de noter que certaines eaux fortement chargées en matières organiques peuvent être inoffensives s'il n'y a pas pollution bactérienne. C'est le cas des eaux de certaines nappes captives et des eaux circulant en milieu tourbeux ou chargé d'humus.

Les valeurs observées en Durance varient de 0,5 à 1 mg/l. En Crau, 78 analyses de matières organiques ont été exécutées dont la majeure partie est concentrée aux alentours des agglomérations et de la décharge de la ville de Marseille (voir carte n° 13). Dans la très grande majorité des cas, soit sur 69 points, la quantité de matières organiques est inférieure à 2 mg/l. On note une nette augmentation de la demande en oxygène à l'aval et au SE de la décharge de la ville de Marseille.

314 - LES BACTERIES (Eschérichia Coli, Coliformes)

Dans les eaux souterraines circulant en milieu poreux, la présence de coliformes et escherichia coli est l'indice d'une source de pollution voisine, ces bactéries étant assez rapidement éliminées par filtration dans les sols.

(1) - DEGREMONT - Mémento technique de l'eau 1972.

La réglementation française (voir annexe) ne présente pas de normes pour les coliformes, mais *eschérichia coli* doit être absent (0 bactérie pour 100 ml).

En Crau (voir carte n° 14), la présence de ces bactéries doit plutôt être considérée comme l'indice d'une pollution du point de prélèvement, les puits étant généralement situés dans les cours des fermes.

Sur 72 analyses, 13 contiennent des *eschérichia coli* avec teneur maximale (400) à l'aval de la décharge de la ville de Marseille, tandis que 10 seulement ne contiennent pas de coliformes.

13 analyses furent exécutées sur les captages importants, aucun ne contient des *eschérichia coli*, mais les coliformes sont présents sur 8 d'entre eaux.

315 - LES DETERGENTS (A.B.S. = Alkyl benzène sulfate)

Les détergents ne figurent pas dans les normes de potabilité de la législation française. Aux U.S.A. (voir annexe) la tolérance est de 0,5 mg/l. L'Organisation mondiale de la santé (voir annexe) demande également que les teneurs en A.B.S. n'excèdent pas 0,5 mg/l.

A partir d'une certaine concentration, la présence de détergent peut nuire à l'épuration biologique et physico-chimique. La toxicité est faible ou nulle pour les anioniques et ioniques connus jusqu'à présent. A doses importantes, les détergents pourraient exercer une action diarrhéique et hémolytique.

Les espèces non biodégradables à 80 % sont interdites par la réglementation française.

Utilisés en masse pour les usages domestiques et industriels, les détergents, pour autant qu'ils ne soient pas biodégradables, peuvent être un bon indicateur de pollution.

En Crau, (voir carte n° 15) sur 72 analyses effectuées, 8 ont révélé un test positif. 2 points : les n° 994.1.168 bis et 1019.4.59 confirment une pollution relevée par l'analyse d'autres ions et dont on ne connaît pas l'origine. Par contre la pollution des eaux de la carrière servant de décharge de la ville de Miramas, le point d'eau n° 993.7.84 et les puits à l'aval de la décharge de la ville de Marseille sont significatifs d'une pollution domestique et industrielle.

Les eaux de Durance ne sont pas exemptes de détergents et les deux échantillons prélevés contiennent 0,01 mg/l.

316 - INDESIRABLES ET TOXIQUES (Fer, cuivre, plomb, arsenic, organo-chlorés)

- Fer

La législation française (voir annexe) indique comme concentration limite 0,2 mg/l; l'O.M.S. admet comme teneur admissible 0,3 mg/l et comme teneur excessive 1 mg/l. S'il ne présente pas d'inconvénient du point de vue physiologique, le fer a l'inconvénient de donner à l'eau une saveur désagréable, un aspect rougeâtre et la propriété de tâcher le linge.

Sur 6 analyses effectuées en Crau, deux ont des teneurs de 0,08 mg/l (voir carte n° 16).

- Cuivre

Les normes américaines, françaises et celles de l'O.M.S. (voir annexe) indiquent comme concentration limite 1 mg/l. De toxicité faible, les sels de cuivre ont le désavantage de donner à l'eau une saveur métallique et astringente pour des doses de 4 à 5 mg/l.

Deux analyses ont été effectuées à la Carougnade. Elles ont révélé la présence de cuivre dans l'eau à des teneurs faibles (0,04 et 0,07 mg/l) (voir carte n° 16).

- Plomb

Ce métal est susceptible de s'accumuler dans l'organisme. Le danger n'est pas seulement lié à l'absorption d'une dose toxique, mais à une accumulation de doses considérées séparément comme non toxiques qui conduit à une affection redoutable et fréquente appelée saturnisme (CEBEDEAU⁽¹⁾).

Les normes américaines et l'O.M.S. (voir annexe) précisent que les eaux à teneur supérieure à 0,05 mg/l ne doivent pas être utilisées. La législation française fixe la teneur limite à 0,1 mg/l.

Quatre valeurs ont été mesurées à l'aval de Rassuen. Elles ont révélé la présence de plomb. Les teneurs varient de 0,02 à 0,1 mg/l. Le seuil de 0,1 mg/l a été atteint dans le puits 1019.4.51 servant à l'alimentation en eau de Rassuen. Il est donc souhaitable de suivre les fluctuations des teneurs en plomb dans ce forage.

- Arsenic

Les déchets industriels sont souvent à l'origine des pollutions arsenicales.

Les normes américaines, celles de l'O.M.S. et la législation française (voir annexe) fixent à 0,05 mg/l la concentration limite. Notons que dans certaines régions minières les eaux consommées ont des teneurs allant jusqu'à 0,8 mg/l

Quatre mesures effectuées à l'aval de Rassuen n'ont pas révélé de présence d'arsenic.

(1) CEBEDEAU - Livre de l'eau, volume III.

- Organochlorés

Les organochlorés figurent parmi les grandes classes de pesticides. Les effets de la toxicité de ces produits sur l'homme sont complexes et encore mal connus.

La législation française et l'O.M.S. n'ont pas encore fixé le taux des teneurs admissibles dans les eaux de boissons.

Quinze analyses ont été effectuées dont deux sur les eaux de Durance. Ces dernières ont révélé des doses de 0,09 et 0,29 microgrammes par litre. Les points de prélèvements ont été choisis dans des zones arboricoles. Les valeurs, sauf une, varient entre 0,013 et 0,49 microgrammes par litre. La teneur de 13,260 microgrammes par litre au point 993.4.16 semble provenir d'une pollution au niveau du puits.

Chapitre 4

ESSAI DE SYNTHÈSE ET

D'INTERPRÉTATION DES RESULTATS

41 - CHIMISME DES EAUX DE LA NAPPE - IMAGE GÉNÉRALE

L'obstacle majeur à l'étude d'une pollution d'une eau de nappe provient du fait que le chimisme représentatif du milieu naturel n'est pas constant et que sa loi de variation est fonction d'un nombre de facteurs généralement très mal connu.

C'est pourquoi, avant de songer à déceler les conséquences sur la nappe des apports externes, accidentels ou permanents dûs à une activité humaine, il est nécessaire de tenter une approche d'interprétation du chimisme naturel de la nappe et de son évolution dans l'espace.

Outre les qualités physico-chimiques des eaux d'alimentation d'une nappe, les conditions physico-géologiques du réservoir vont régler les réactions chimiques soit par mise en solution et attaque des substances contenues dans les terrains traversés par les eaux, soit par des phénomènes secondaires comme les échanges de bases, la réduction des sulfates, les oxydations et les concentrations par nouvelles dissolutions ou évaporation et les précipitations.

Voyons tout d'abord l'origine des eaux d'alimentation de la nappe; celles ci proviennent pour un tiers des eaux de pluie et pour deux tiers des eaux d'irrigation (voir surfaces irriguées, carte n° 1) amenées de Durance.

Les eaux de Durance sont de faciès bicarbonaté-calcique, pauvres en chlorures, sodium, potassium, magnésium et nitrates, et riches en bicarbonates (voir diagramme n° 1). Le degré hydrotimétrique est assez élevé et oscille entre 20 et 27°.

En Crau, d'une façon générale et sur la plus grande partie du domaine, le faciès hydrochimique est identique avec des concentrations similaires ou plus prélevées, en particulier pour les bicarbonates, ce qui entraîne une élévation du titre hydrotimétrique, qui est voisin ou supérieur à 30°.

Dans les grandes lignes, on distingue (voir carte n° 8) :

- des zones où la nappe est essentiellement alimentée par des eaux de pluie, en l'absence d'irrigations et au voisinage d'une ligne de partage des eaux, par exemple au NW et au Sud de l'aérodrome d'Istres. Les faciès chimiques, et les concentrations, sont les plus voisins de ceux des eaux de la Durance (voir diagramme n° 2). Ce particularisme s'explique car les graviers de Crau proviennent du bassin de la Durance. Ces eaux sont les plus douces de Crau, avec un titre hydrotimétrique compris entre 20 et 30°.
- des zones où la nappe est alimentée à la fois par des eaux de pluie et par des irrigations. Les diagrammes chimiques sont identiques, mais on observe une augmentation des bicarbonates, du calcium et du magnésium. Les eaux possèdent un titre hydrotimétrique compris entre 30 et 40° (voir diagramme n° 3).
- des zones fortement influencées par des facteurs physico-géologiques et humains environnants parmi lesquels :
 - . à l'Est et au NE, la présence de la bordure miocène et des agglomérations. Les diagrammes chimiques demeurent analogues, mais il y a un déplacement vers le haut avec nette augmentation des bicarbonates, de calcium et parfois de magnésium, des sulfates, chlorures, sodium et potassium (voir diagramme n° 4).
 - . au centre, près de l'étang d'Entressen et à l'aval de la décharge de la ville de Marseille, une influence mixte pouvant provenir de la présence du substratum à faible profondeur, de phénomènes de concentration par évaporation en présence d'irrigation et à partir d'une

nappe à très faible profondeur (de l'ordre de, ou inférieur à 1 mètre), d'infiltrations soit au niveau de la décharge, soit à partir des particules et déchets entraînés par les vents, et particulièrement par le Mistral.

Le diagramme n° 5 montre l'évolution des diagrammes chimiques de l'amont vers l'aval de la décharge : en amont, nous avons affaire à des diagrammes-types de zones influencées par les pluies et les irrigations. A l'aval l'équilibre chimique est totalement modifié avec une forte augmentation des ions majeurs, spécialement des chlorures, du sodium et du potassium. Le diagramme n° 6 est plus caractéristique d'un mélange d'influence, mais pour l'heure il est difficile de dégager la prépondérance de tel ou tel facteur.

- aux alentours de l'étang des Aulnes, une influence mixte pouvant provenir de la présence du substratum à faible profondeur et de phénomènes de concentration dus à l'évaporation favorisée par les irrigations et la faible profondeur de l'aquifère (de l'ordre de ou inférieure à 1 mètre). Le diagramme n° 7 montre un exemple de ce type, dont la physionomie est voisine de celle du diagramme n° 3 mais avec un léger déplacement vers le haut. Le titre hydrotimétrique est voisin de 40°.
- au Sud de Saint Martin de Crau, une influence des phénomènes de concentration par évaporation en raison de la faible profondeur de l'aquifère (de l'ordre de, ou inférieure à 1 mètre) et peut-être de la présence de l'agglomération. Le diagramme n° 8 représente ce type d'eau, semblable à celui du diagramme n° 3 mais avec une légère augmentation des sulfates, des chlorures, du sodium, du potassium et du calcium. Le titre hydrotimétrique varie de 38 à 50°.
- dans la zone de l'étang de la Dynamite, une influence caractéristique de rejets industriels et domestiques dont le diagramme n° 9 est un exemple significatif.
- quelques points particuliers dont certains sont influencés par une pollution domestique ou agricole locale (voir diagramme n° 10).

42 - LES POLLUTIONS - ESSAI D'INTERPRETATION

Les enquêtes nous avaient conduit à distinguer 3 types principaux de pollutions domestiques, industrielles et agricoles. Voyons à la lumière des analyses et de la répartition spatiale des différents ions, les conséquences sur la nappe.

421 - Pollutions domestiques

Les pollutions domestiques se propagent principalement par l'intermédiaire des dépôts d'ordures ménagères ainsi que des effluents, soit

à leur point de rejet, soit par perte le long des réseaux.

Les dépôts d'ordures ont fait à ce jour l'objet de nombreuses études et l'on connaît l'évolution des lessivats. Différents auteurs citent des chiffres, par exemple WILLIAMS R.E. et WALLACE A.T.⁽¹⁾ donnent le pourcent en poids des produits lessivés dans les ordures déposées :

Eléments	%
- Cl ⁻	0,1
- SO ₄ ⁻⁻	0,1 - 0,3
- Ca ⁺⁺	0,02 - 0,03
- Mg ⁺⁺	0,015
- Na ⁺	0,08 - 0,3
- K ⁺	0,05 - 0,13
- NO ₃ ⁻	0,002
- PO ₄ ⁻⁻	0,0007
- NH ₃ -N	0,04
- N organique	0,007 - 0,016
- C organique	0,1 - 0,3
- Fer total	0,01

Un autre auteur, WEAVER L.⁽²⁾ a calculé que 1.200 m³ d'ordures peuvent produire en moins d'un an :

- 1,5 tonne de sodium et de potassium,
- 1,0 tonne de calcium et de magnésium,
- 0,9 tonne de chlorures,
- 0,23 tonne de sulfate
- 3,9 tonnes de bicarbonates.

Par la suite les quantités produites diminuent fortement car les ordures se stabilisent.

(1) - WILLIAMS R.E. - WALLACE A.T. (1970) - Hydrogeological aspect of the selection of refuse disposal sites in Idaho. Univ. of Idaho. 31 p. 2 fig. 4 table.

(2) - WEAVER L. 1961 - Refuse disposal, its significance - Ground Water Contamination p. 104 - 110 - RATSSEL W. 61 - R. USDHEW. PHS

Le diagramme n° 11 montre des faciès d'effluents urbains traités ou non prélevés à Lyon au cours d'une étude de l'Agence de Bassin et en Crau. On note une nette augmentation des bicarbonates, des chlorures, du potassium et du sodium.

Voyons les principaux points caractéristiques de pollution domestique et ceux qui le sont moins.

- Dépôt d'ordures de la ville de Marseille

L'influence se fait nettement sentir au Sud et au SE du dépôt. Elle est très nette aux points 993.7.A, B, 23, 10 et 11, nette aux points 993.7.26, 71, 41, 28 b et 31, et floue du fait de la dilution (voir cartes n° 4, 9, 10, chlorures, sodium, potassium) sur les points 993.7.32, 13, 16 - 993.6.73 et 1019.2.6, 18, 12).

On notera la forme allongée vers le SE de la zone à fortes teneurs, forme qui contraste nettement avec le sens d'écoulement de la nappe (voir carte n° 1). Comme nous l'avons vu au § 41, si diverses causes peuvent contribuer à cette augmentation des teneurs, il faut admettre que celle-ci correspond exactement à la direction où souffle le Mistral et suivant laquelle les particules et déchets de toutes espèces sont largement répandus. A une infiltration directe par percolation des lessivats au travers de la décharge et des cailloutis indurés (leur induration n'occasionne pas la formation d'une barrière étanche, des études récentes dans la région de Raphèle-Moulès l'ont démontré) s'ajoute une infiltration d'eau de lessivage des particules et déchets emportés par les vents dans les secteur avoisinants.

- Dépôt d'ordures de la ville de Miramas

Le dépôt d'ordures de la ville de Miramas se situe dans une gravière en eau à l'Ouest de Miramas, dans le couloir à grande transmissivité, juste en amont des captages de la ville, du C.E.A. et de la S.N.C.F.

(débit de l'ordre de 300 à 350 l/s). Il se trouve dans la zone d'influence de ces captages et les pollutions, sous forme très diluée certes en raison des débits exploités, sont "récupérées" par les pompages⁽¹⁾.

L'échantillon prélevé révèle, par rapport aux puits amont et aval (voir diagramme n° 12), une légère augmentation des teneurs en bicarbonates, sulfates, chlorures, potassium, sodium et calcium. On note la présence de nitrites (0,1 mg/l), de détergents (0,01 mg/l) et d'hydrocarbures (0,2 mg/l). Les teneurs restent toutefois faibles comparativement à celles d'analyses de ce type d'eau qui sont citées en littérature. J.F. FURNESS⁽²⁾, par exemple, trouve à Egham en Angleterre une eau de gravière en voie de comblement par les ordures avec une teneur de 500 p. p. m (parties par million) de chlorures, 800 p. p. m de carbonates de calcium, 1300 p. p. m de sulfates et 5000 p. p. m en résidu sec. La cause de cette concentration relativement faible à Miramas est-elle due à la forte transmissivité de la nappe et à la présence de pompages importants à proximité ? la question reste posée.

- Aval hydraulique d'agglomérations

Les meilleurs traceurs de pollutions domestiques par pertes de réseaux et infiltrations des eaux usées sont le sodium et les chlorures (voir cartes n° 4 et 9). Il y a également augmentation des bicarbonates, mais leur interprétation est souvent mal aisée, surtout lorsque le milieu n'est pas homogène. D'autres traceurs sont utilisables mais toujours avec un caractère restrictif, ainsi :

- les bactéries et les matières organiques (cartes n° 13 et 14) évoluent rapidement dans l'espace et dans le temps.

(1) - Rappelons qu'en régime transitoire un puits débitant 300 l/s durant une année provoquerait un rabattement de l'ordre de 0,40 m à 1000 m de distance, dans un réservoir à transmissivité égale à $3 \cdot 10^{-1}$ m²/s et à coefficient d'emménagement égal à 10 %.

(2) - J.F. FURNESS - The effect on surrounding underground water of tipping household refuse into wet gravel pits at Egham. P.S.W.T.E. 1962 11:1 p. 23 - 31 - 5 fig.

- l'azote ammoniacal et les nitrites (carte n° 11 a) sont des éléments instables et doivent normalement par oxydation aboutir aux nitrates dont l'origine est souvent difficile à définir : nitrification de l'azote organique ou en liaison avec la teneur en nitrates des terrains traversés. D'autre part près des villes et en présence d'hydrocarbures, les nitrates peuvent être transformés en nitrites par oxydation de l'essence dans le sol.
- les hydrocarbures, (carte n° 12) dont l'origine peut être une pollution industrielle ou domestique.
- les A.B.S. (carte n° 15) pour autant qu'ils ne soient pas biodégradables et dont l'origine peut être industrielle ou domestique.

Les chlorures ou le sodium marquent une tendance à l'augmentation des teneurs au droit ou à l'aval des agglomérations de la bordure orientale de Crau, mais avec l'influence de la bordure miocène, il n'y a pas absolue certitude quant aux causes de l'augmentation des teneurs.

Les matières organiques ne révèlent pas de pollutions particulières dûes aux agglomérations et les bactéries sont plutôt l'indice d'une pollution du point de prélèvement lui-même.

Les nitrates montrent une légère augmentation à l'aval de Salon. On note également un point à concentration élevée au Sud de Miramas, mais ce puits est situé en bordure de Crau et il n'est par certain que l'augmentation de la teneur soit l'indice d'une pollution à partir de Miramas.

La présence d'azote ammoniacal et de nitrites n'est pas courante aux alentours des agglomérations. On note deux points dans la région de Salon, deux à Miramas et un à l'aval hydraulique de Saint Martin de Crau. Toutefois ce dernier point est situé dans une zone basse, marécageuse et la présence de nitrites peut simplement provenir du processus de nitrification de matières organiques d'origine végétal.

Les hydrocarbures sont largement répandus en Crau et l'ensemble des analyses a donné des résultats positifs; ils proviennent des eaux de Durance, de vidanges sauvages, de fuites possibles de cuves ou d'oléoducs et des effluents domestiques ou industriels. La moyenne des

teneurs analysées est cependant faible, un peu plus forte dans l'ensemble à l'aval de Salon, Miramas et Istres que sur le reste de la Crau.

Quant aux détergents leur présence n'a été décelée qu'en un point dans la gravière servant de décharge à la ville de Miramas.

422 - Les pollutions industrielles

La recherche des pollutions industrielles, implique au préalable une enquête systématique détaillée sur les procédés de fabrication, le rôle de l'eau, l'état des lieux, les pollutions susceptibles d'être engendrées, les points d'eau, les traitements des eaux usées et les points de rejets.

Les enquêtes ainsi menées dans la première phase de l'étude ont permis la mise au point d'un programme de prélèvements et d'analyses.

Les industries sont encore peu développées en Crau. Du fait de leur situation près des agglomérations et de leur faible nombre relatif, les pollutions qu'engendrent la plupart d'entre elles sont assimilables aux pollutions domestiques, notamment en ce qui concernent les hydrocarbures et les détergents. Voyons les quelques cas qui retiennent l'attention :

- Etang de la Dynamite

Le diagramme n° 9 montre l'allure des analyses d'eau autour de l'étang de la Dynamite à Saint Martin de Crau; celles-ci nous révèlent :

- pour l'étang : de très fortes teneurs en sulfates, nitrates et sodium et la présence des nitrites.
- pour l'effluent : de très fortes teneurs en sulfates, sodium et azote ammoniacal.
- pour le puits 993.6.91 : une très forte élévation des teneurs en nitrates, sulfates et sodium, ainsi qu'une élévation des teneurs en bicarbonates, calcium et magnésium. Il faut signaler la présence de nitrites, mais en quantité faible (0,5 mg/l

Les quatre autres puits disséminés aux alentours de l'étang ont des eaux conformes à celles de Crau et n'ont pas révélé de pollutions particulières.

- Zone de la Carougnade

Deux analyses portant sur le cuivre ont révélé la présence de cet élément à des teneurs inférieures à la limite fixée par la législation française (0,04 et 0,07 mg/l).

- Aval hydraulique de Rassuen

Les quatre prélèvements effectués ont révélé la présence de plomb. Le puits alimentant Rassuen a une teneur de 0,1 mg/l, qui est supérieure à la norme fixée par la législation française (0,05 mg/l au puits). Il mérite une surveillance attentive.

Les analyses n'ont pas révélé d'autres pollutions, sauf celle du puits le plus aval n° 1019.4.59, dont une enquête complémentaire devra définir les causes.

- Zone de Miramas

Les effluents qui se jettent dans la gravière décharge de Miramas étaient fortement chargés en hydrocarbures le jour de notre visite.

Les pollutions industrielles et domestiques sont étroitement liées dans ce secteur. Comme elles se trouvent dans la zone d'influence des pompes et que les débits sont importants, la dilution est très forte et les analyses n'ont pas révélé de pollution particulière grave.

- Zone d'Entressen

Des traces de détergents (voir carte n° 15) ont été trouvées dans les eaux du puits 993.7.84,

423 - Les pollutions agricoles

Le premier rapport "Programme des prélèvements et des analyses" fait état des quantités d'engrais et de pesticides utilisés en agriculture.

Les engrais sont à base d'azote, de potassium et de phosphates. L'augmentation des teneurs peut provenir également d'une infiltration en provenance d'une étable, d'une fosse à purin, d'une fosse d'aisance ou d'un fumier.

Le potassium est un élément à peu près constant dans l'eau, mais en quantité assez faible (voir carte n° 10). Les points représentatifs d'une activité purement agricole à teneur supérieure à 10 mg/l ne sont qu'au nombre de 8. Des prélèvements et enquêtes complémentaires sont souhaitables pour connaître l'origine exacte de cette augmentation de la teneur : engrais ou pollution en provenance de la ferme.

Les phosphates sont aisément assimilables par les plantes et l'action bactérienne au niveau des sols. Sur 36 analyses, 6 ont donné des résultats positifs. Les teneurs étaient inférieures à 0,5 mg/l sauf au point 993.7.10 à l'aval de la décharge de la ville de Marseille (3,8 mg/l).

Les nitrates sont présents presque partout en Crau et si l'on excepte quelques points particuliers, les teneurs varient entre 0 et 15 mg/l. Dans l'ensemble, les teneurs ont tendance à être plus élevées (5 - 10 mg/l) dans les zones irriguées que dans les secteurs sans irrigation. L'image représentée sur la carte n° 11 est cependant assez diffuse car les engrais sont principalement répandus au printemps et les filets liquides se déplacent créant ainsi une forte dilution.

Les organo-chlorés, une des grandes classes de pesticides utilisées en agriculture, ont été analysés sur les eaux de la Durance (2) et sur des puits intéressant des secteurs plus particulièrement arboricoles. Les résultats sont exprimés en microgramme par litre. Deux puits dépassent les concentrations observées en Durance, le 993.7.10 et le 993.4.16. La teneur de ce dernier avec plus de 13 microgrammes/litre est certainement représentative d'une pollution au niveau de puits ou dans son environnement immédiat (déversement accidentel de produits ou lavage de citernes à pesticides).

43 - SITUATION DES CAPTAGES ET QUALITE DES EAUX

La carte n° 17 donne une image des zones de meilleures transmissivités de la nappe, représentative des zones les plus favorables à l'exploitation et à l'implantation de captages importants.

Pour l'heure, la très grande majorité des captages se situe dans le couloir de Miramas, sur la bordure orientale de la Crau. Ce couloir alimente en eau potable les villes de Miramas, Istres, Port de Bouc, Port Saint Louis du Rhône et Fos, ainsi que de nombreuses industries.

L'influence de la bordure miocène et des villes a tendance à altérer la qualité des eaux par augmentation des teneurs des ions majeurs et des indicateurs de pollution. Le titre hydrotimétrique y est élevé, compris entre 35 et 48°. La partie occidentale du couloir offre des eaux de meilleure qualité; le titre hydrotimétrique diminue et devient inférieur à 30°.

La répartition des captages à l'aval de Miramas et d'Istres empêche certes une plus large diffusion des pollutions. L'importance hydraulique de ce couloir devrait inciter à éviter toute contamination en particulier par déverse d'effluents et par décharges d'ordures afin d'éviter à l'homme de consommer, même sous forme extrêmement diluée, ses propres pollutions.

Le couloir central qui draine les eaux polluées par la décharge de la ville de Marseille n'est le siège d'aucune exploitation. Des captages implantés dans sa partie aval n'apporteront pas d'inconvénients majeurs car les pollutions arrivent sous forme extrêmement diluées.

Le couloir de Saint Hippolyte - Saint Martin de Crau alimente la ville de Saint Martin de Crau et pourrait à l'avenir contribuer à l'alimentation d'Arles. Les eaux, quoique un peu dures (le titre hydrotimétrique est voisin de 35 - 40°) sont de qualité acceptable.

Quatre autres captages sont implantés dans des conditions hydrauliques moins favorables : celui d'Entressen mis récemment en service dont on ne possède pas d'analyse, celui du Mas Thibert dont le titre hydrotimétrique avoisine 35° et ceux du complexe industriel de Saint Martin de Crau, au voisinage de l'étang de la Dynamite. En raison de la pollution de l'étang, ces deux stations devraient faire l'objet d'une étroite surveillance.

Chapitre 5

PROPOSITIONS D'ETUDES COMPLEMENTAIRES

Si cette étude donne une image générale de la qualité des eaux de la nappe et des pollutions caractéristiques, il n'est que les facteurs d'altération chimique des eaux et les propagations spatiales des principales pollutions sont encore mal connus. Actuellement il est difficile de se prononcer sur :

- l'extension et l'évolution de la pollution à l'aval et au Sud-Est de la décharge de la ville de Marseille et sur le rôle des vents, en particulier du Mistral, dans cette pollution.
- l'évolution du chimisme de l'étang de la Dynamite et l'extension des pollutions.
- le rôle des pollutions domestiques ou industrielles sur les captages de Miramas.
- le rôle de la bordure miocène et le rôle des pollutions domestiques ou industrielles à l'aval hydraulique de Salon de Provence, d'Istres et de Rassuen.
- l'origine des teneurs en hydrocarbures supérieures à 0,15 mg/l.
- l'influence des engrais sur le chimisme de la nappe.

L'étude de ces problèmes passe par la connaissance détaillée:

- du chimisme naturel de la nappe. Pour la bordure miocène, il faudra choisir des points de référence représentatifs non influencés par des facteurs externes.

- de la source de pollution (pour les villes, la source n'est plus ponctuelle, mais s'étend sur un secteur), et de l'évolution de la pollution dans le temps; une pollution due à une décharge par exemple, va être fonction de ses relations avec l'aquifère, de l'infiltration, de la dilution, des échanges de base avec le milieu récepteur et de son exposition à la force des vents.
- pour la décharge de la ville de Marseille, du rayon d'action des vents.
- pour l'étude de l'influence des engrais, d'analyses sur deux points de mesure à choisir l'un en prairie, l'autre en milieu arboricole. Les prélèvements doivent être fonction de la date d'épandage des engrais et des irrigations ou des précipitations.

Chapitre 6

PROJET DE RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES EAUX

Il n'est pas inutile de rappeler que la nappe de la Crau est pour l'heure largement sous-exploitée. Elle reçoit beaucoup plus d'eau qu'elle ne peut en absorber et les débordements en de nombreux secteurs ont obligé les communautés à construire des canaux de drainage pour éviter que les terres ne se transforment en marécages (voir essai de bilan p. 13 "Programme des prélèvements et analyses").

Cette nappe peut donc fournir des ressources complémentaires importantes puisque les débits moyens annuels mesurés des débordements (débit des canaux de drainage) ont été pour 1962 de l'ordre de $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'utilisation du modèle mathématique de gestion réalisé pour le compte de la Direction départementale de l'Equipement permettra une exploitation maximale et rationnelle des ressources existantes par la recherche d'une répartition adéquate des exploitations en fonction des besoins, des alimentations, des débordements de la nappe et de la répartition des transmissivités.

Dans l'optique d'une exploitation rationnelle de cette richesse, il est logique de penser à la préservation de la qualité des eaux, la réduction du volume des pollutions déversées et à l'implantation d'un réseau de surveillance.

61 - IMPLANTATION D'UN RESEAU DE SURVEILLANCE - CHOIX DES POINTS DE PRELEVEMENTS

Un réseau de surveillance doit-être représentatif :

- de la qualité générale des eaux d'une nappe et plus particulièrement des zones favorables à l'exploitation où les transmissivités sont élevées. Tous les faciès types d'eau doivent être représentés.
- de la qualité des eaux servant à la consommation humaine. Les stations de captage doivent être incluses dans la liste des réseaux de surveillance.
- des points de pollution, de leur extension, de leur évolution spatiale et dans le temps.
- de la qualité des eaux servant à l'irrigation.

Le réseau à créer comportera :

- des points de prélèvements de plan d'eau utilisés comme décharge ou non.
- des points de prélèvements à l'aval hydraulique des villes et à l'amont hydraulique des stations de captage.
- les stations de captage.
- des points de prélèvement à l'aval hydraulique de pollutions industrielle et de décharge urbaine.
- des points de prélèvements représentatifs de pollution agricole (engrais par exemple).
- des points de prélèvements représentatifs de faciès-types des eaux de la nappe.

Un premier schéma de réseau est présenté dans ce rapport (voir carte n° 19). Il comporte 57 points de mesures dont 20 captages pour alimentation en eau potable, 28 puits fermiers, 3 piézomètres et 6 points de prélèvement d'eau superficielle. La position des puits n'a pour l'instant qu'une valeur indicative de leur répartition, car il faut que les points choisis soient représentatifs de la qualité des eaux de la nappe dans tel ou tel secteur et ne soient pas perturbés par une pollution au niveau d'une fosse d'aisance ou d'un fumier.

62 - PERIODICITE DES PRELEVEMENTS

Il faut envisager une périodicité annuelle de 2 prélèvements.
Le premier aura lieu en mars-avril et le deuxième en septembre.

Chaque prélèvement en nappe fera l'objet d'un pompage préalable pour obtenir un échantillon représentatif de la nappe.

63 - DETERMINATIONS A EFFECTUER

Sur l'ensemble des points :

- sur place :

- . température
- . résistivité
- . pH en certains points.

- en laboratoire :

Les analyses seront définies en fonction des dangers de pollution de la nappe et de son évolution. En principe on retiendra les ions indicateurs de pollution (Cl , SO_4 , NO_3 ), ainsi que des éléments particuliers à l'aval des zones industrielles et en secteurs agricoles.

Des modifications pourront être apportées ultérieurement en fonction des observations de l'équipe de surveillance et des projets d'exploitation.

Les captages A.E.P.⁽¹⁾ feront en plus l'objet d'un examen bactériologique.

(1) - La surveillance habituelle des captages A.E.P. sera intégrée pour éviter une dispersion des mesures.

Chapitre 7

CONCLUSIONS

71 - CHIMISME DES EAUX DE LA NAPPE - IMAGE GENERALE

A l'image des eaux de la Durance utilisées en irrigation (et dont les infiltrations représentent les deux tiers du volume annuel reçu par la nappe, l'autre tiers provenant des eaux de pluie), les eaux de Crau sont de faciès bicarbonaté-calcaïque avec des concentrations plus ou moins élevées selon :

- l'origine des eaux d'alimentation,
- l'influence physico-géologique du substratum et des limites,
- la profondeur de la nappe par rapport au sol, l'importance de l'évaporation et du drainage,
- l'importance des pollutions et de leur possibilité de dilution.

Il arrive fréquemment qu'une ou plusieurs causes soient responsables de l'altération de la qualité des eaux. Il devient alors difficile de trancher et de définir une prépondérance. C'est pourquoi en certains secteurs des études complémentaires ont été proposées.

72 - INFLUENCE HUMAINE SUR L'ALTERATION CHIMIQUE DE LA NAPPE

- Pollution domestique

Les pollutions domestiques sont nettes :

- à l'aval hydraulique de la décharge de la ville de Marseille et au Sud-Est de celle-ci grâce à l'influence du Mistral.
- dans la gravière de la décharge de la ville de Miramas. Cette pollution est située dans la zone d'influence des captages S.N.C.F., C.E.A. et ville de Miramas.

Elles sont combinées à d'autres facteurs sur la bordure orientale de la Crau où le faciès hydrochimique est influencé par le Miocène.

- Pollution industrielle

La pollution industrielle est nette et importante à l'étang de la Dynamite. Du cuivre a été décelé à la Carougnade, du plomb à l'aval de Rassuen et des détergents au Mas Pointu. A Miramas, il y a pollution, mais il est difficile de déterminer le facteur prédominant : domestique ou industriel.

On constate partout la présence d'hydrocarbures. Proviennent-ils des eaux de Durance, des vidanges sauvages, des pertes de cuves ou d'oléoducs, des eaux usées industrielles ou domestiques ? Le résultat est certainement la somme de ces origines diverses. On note par ailleurs une légère augmentation des teneurs sur la bordure orientale, à l'aval hydraulique des villes.

- Pollution agricole

Des indications d'une telle pollution ont été décelées par le potassium en quelques points, par les nitrates (mais d'une manière assez floue car les épandages ont lieu au printemps) et par les organo-chlorés en deux points au moins, les autres ayant révélé une teneur comparable à celle des eaux de la Durance.

73 - PROPOSITIONS D'ETUDES COMPLEMENTAIRES ET DE RESEAU DE SURVEILLANCE

Des propositions d'études ont été faites dans des secteurs pollués d'une manière certaine par l'homme mais sans que l'on connaisse suffisamment l'importance, l'extension et l'évolution dans l'espace et dans le temps de cette pollution. De plus, certains facteurs physico- géologiques, comme la présence du Miocène sur la bordure orientale ou la concentration par évaporation peuvent contribuer à altérer la qualité chimique de l'eau.

Les ressources de la nappe de Crau étant abondantes, le choix d'un réseau de surveillance se justifie. 57 points de prélèvements sont proposés avec deux prélèvements annuels.

D I A G R A M M E S C H I M I Q U E S

DIAGRAMME 2

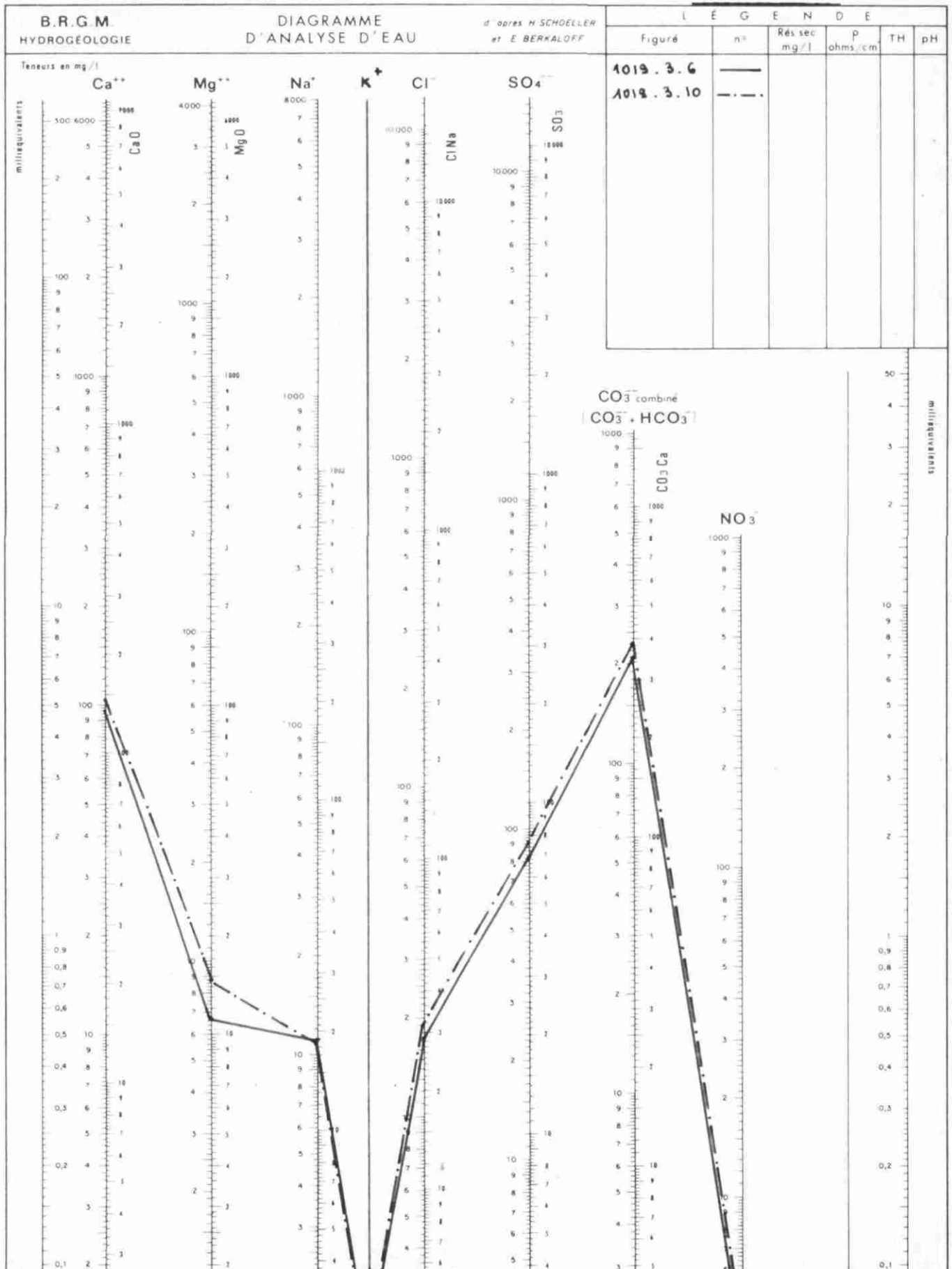


Diagramme type d'eau de nappe alimentée par les pluies

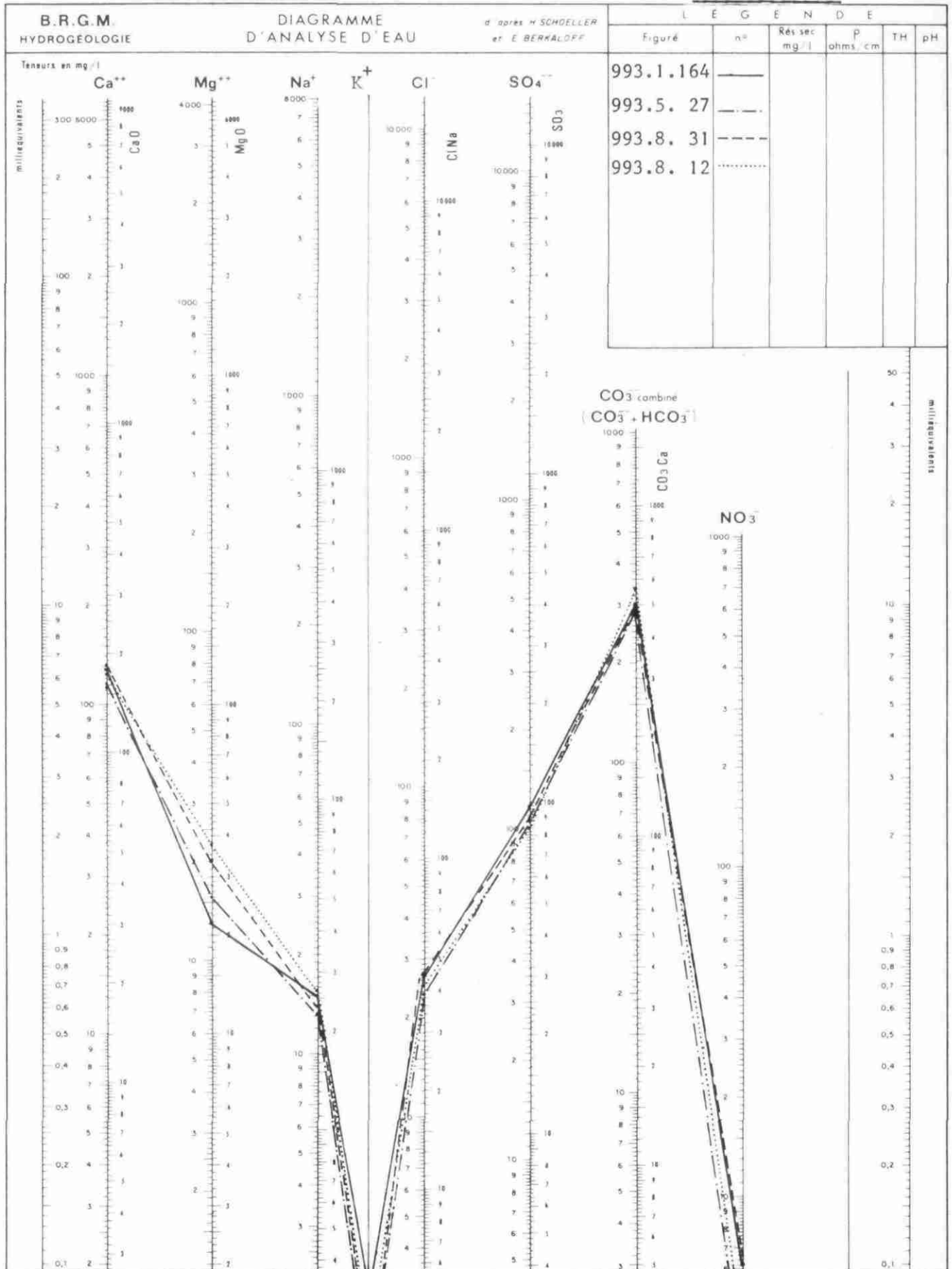


DIAGRAMME 4

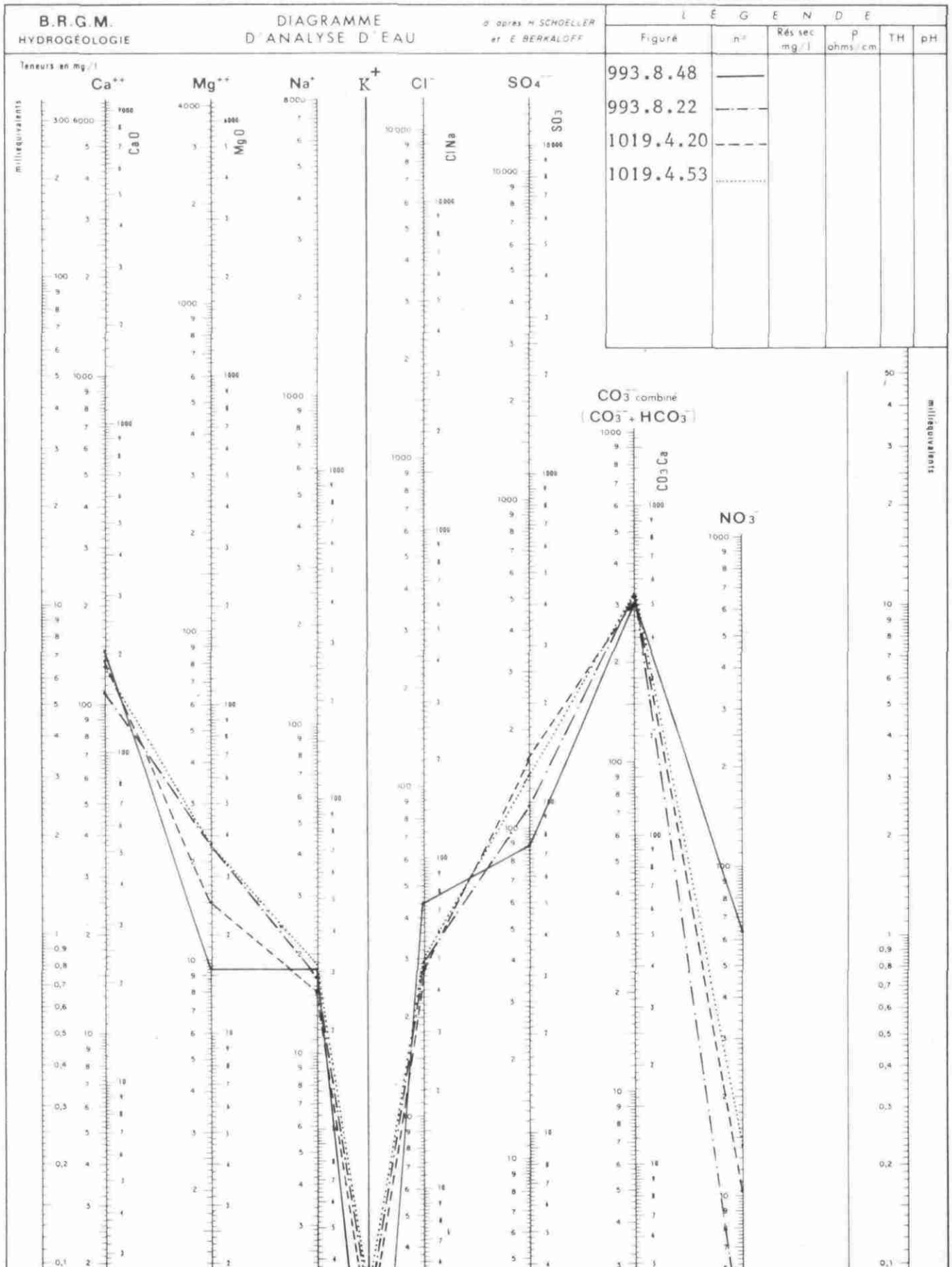


DIAGRAMME 4 bis

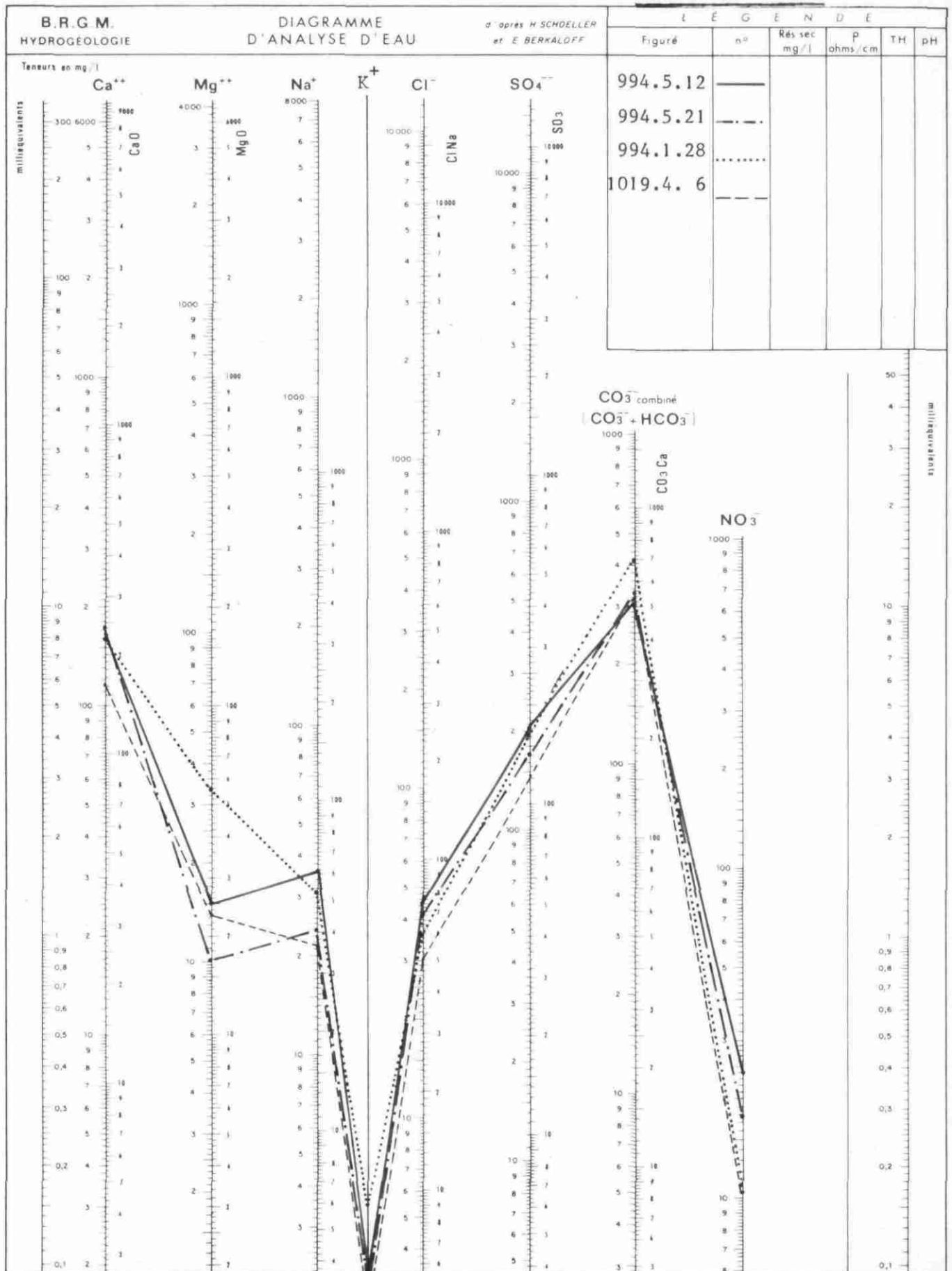


Diagramme type des faciès de la bordure orientale

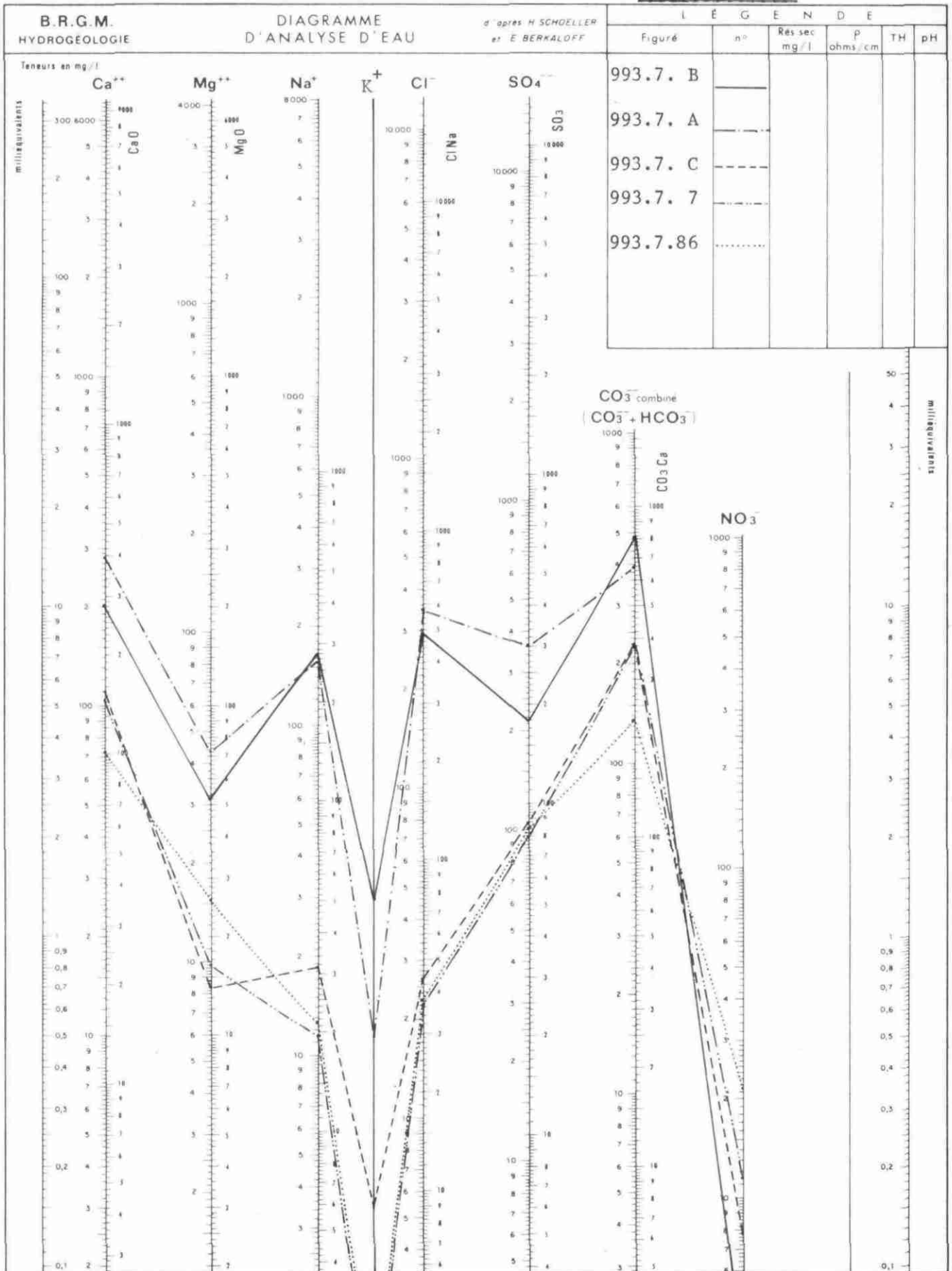


Diagramme montrant le passage de l'amont à l'aval de la décharge de la ville de Marseille.

DIAGRAMME 6

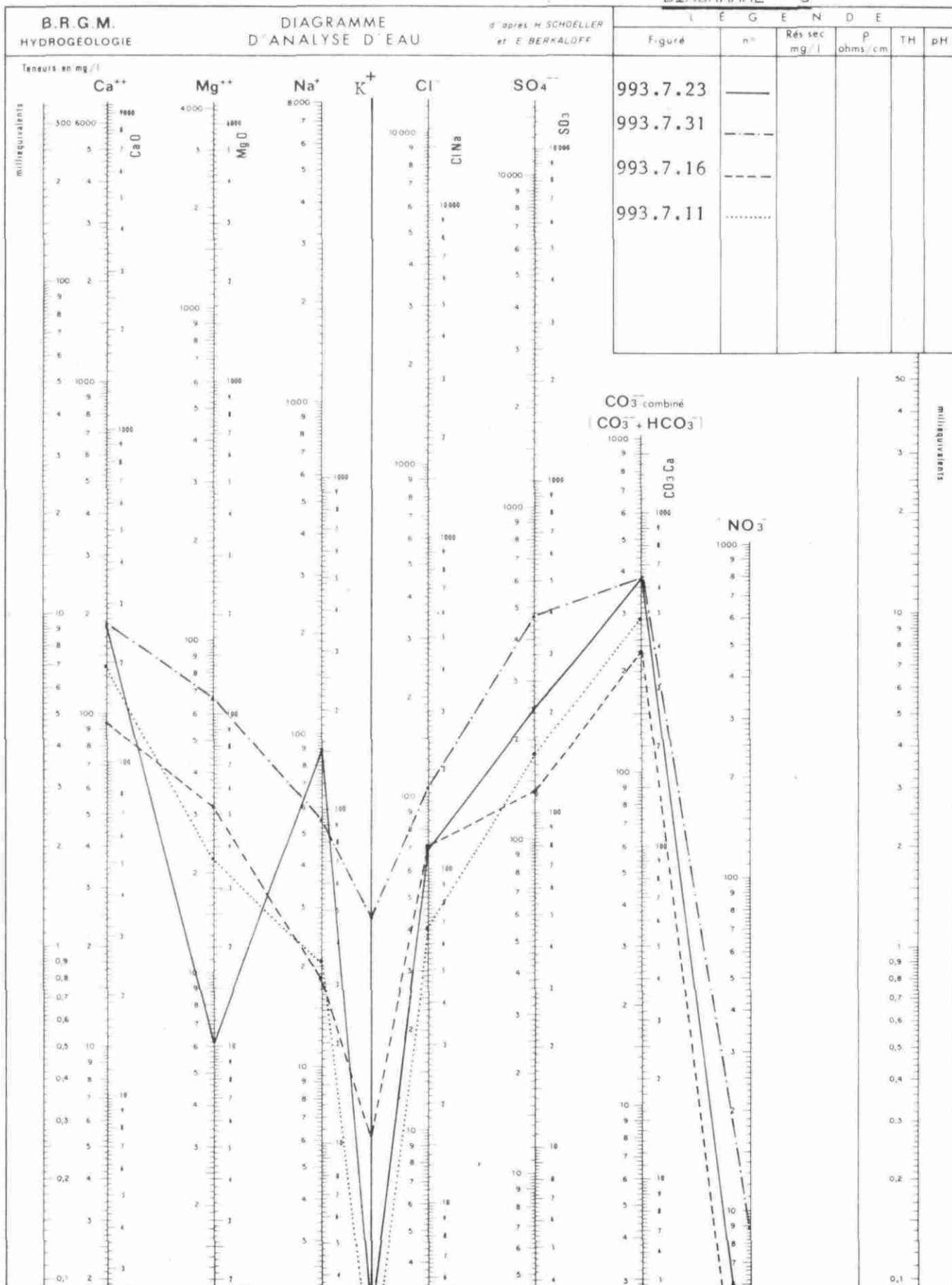


Diagramme type d'eau au Sud-Est de la décharge de la ville de Marseille

DIAGRAMME 6 bis

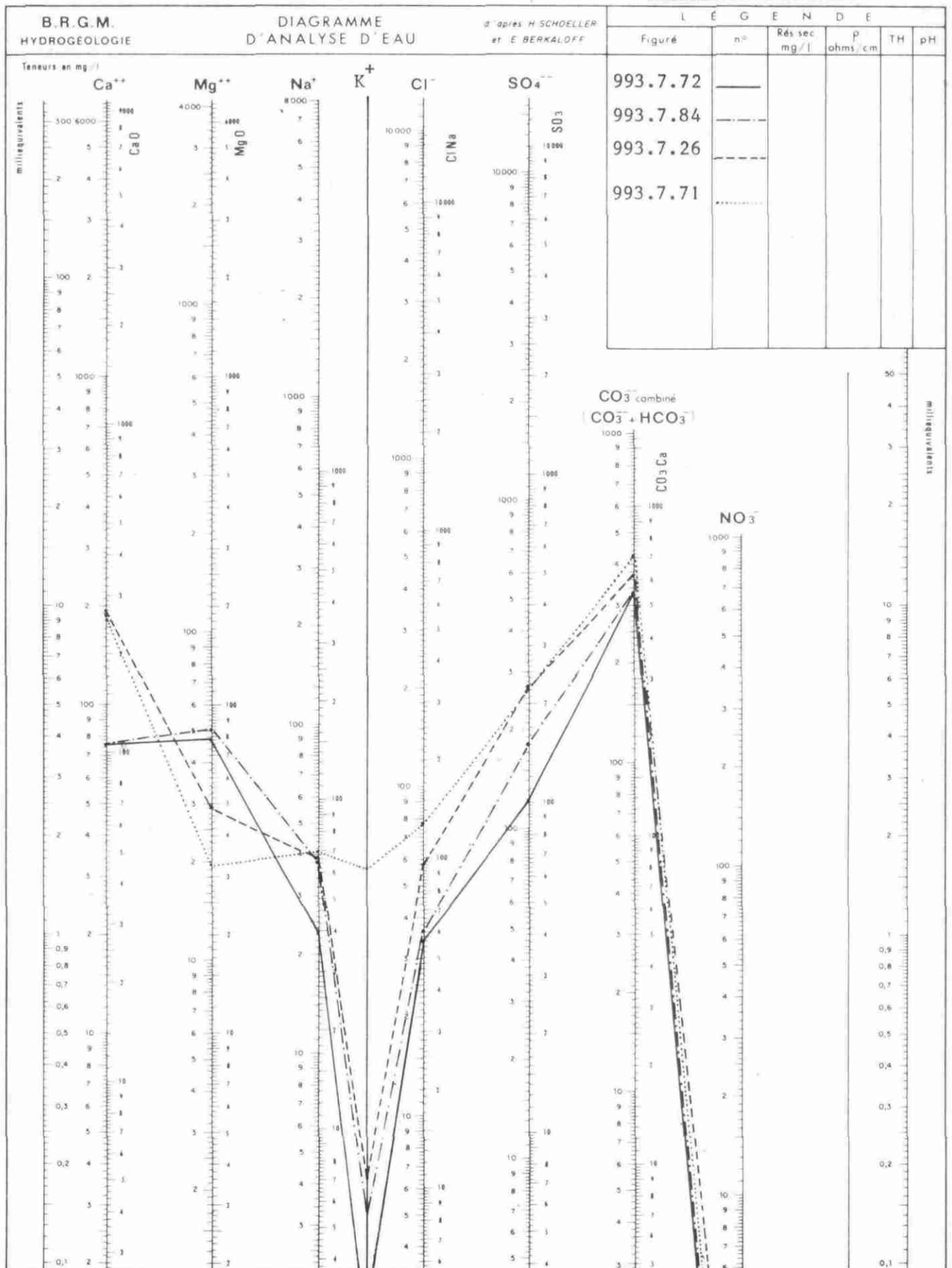
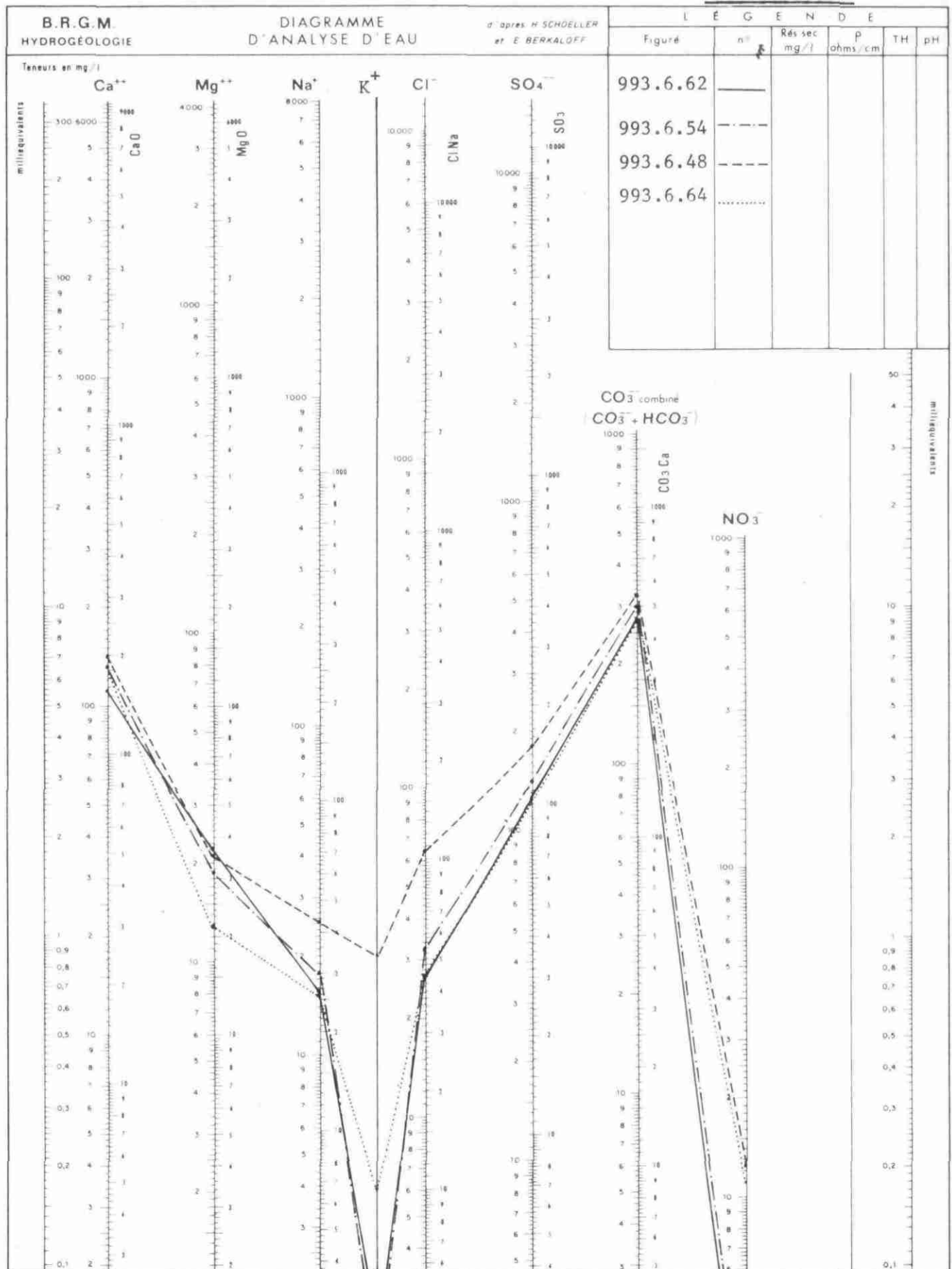


Diagramme type d'eau au Sud-Est de la décharge de la ville de Marseille

DIAGRAMME 7



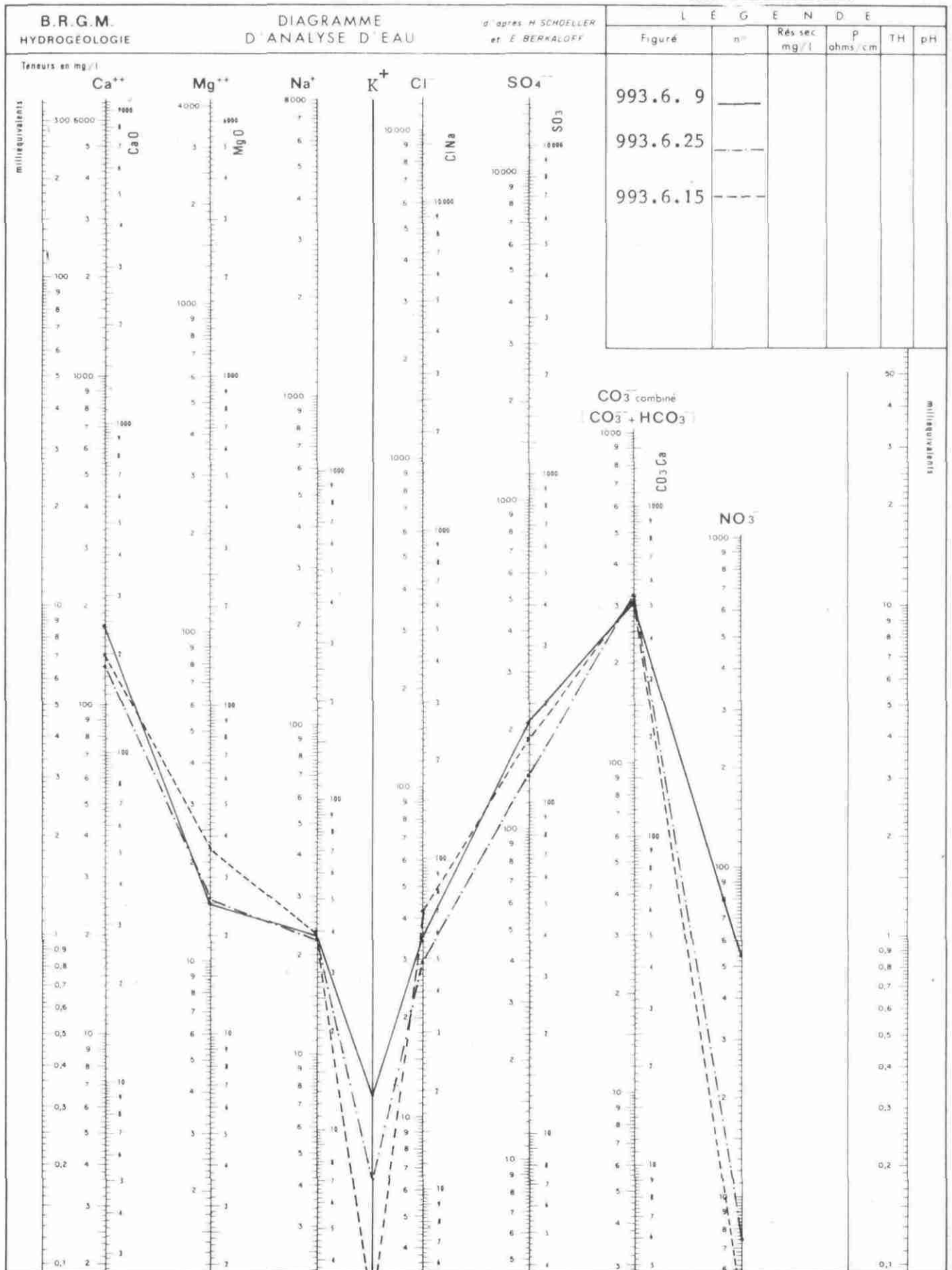


Diagramme type de la zone au Sud de Saint Martin de Crau

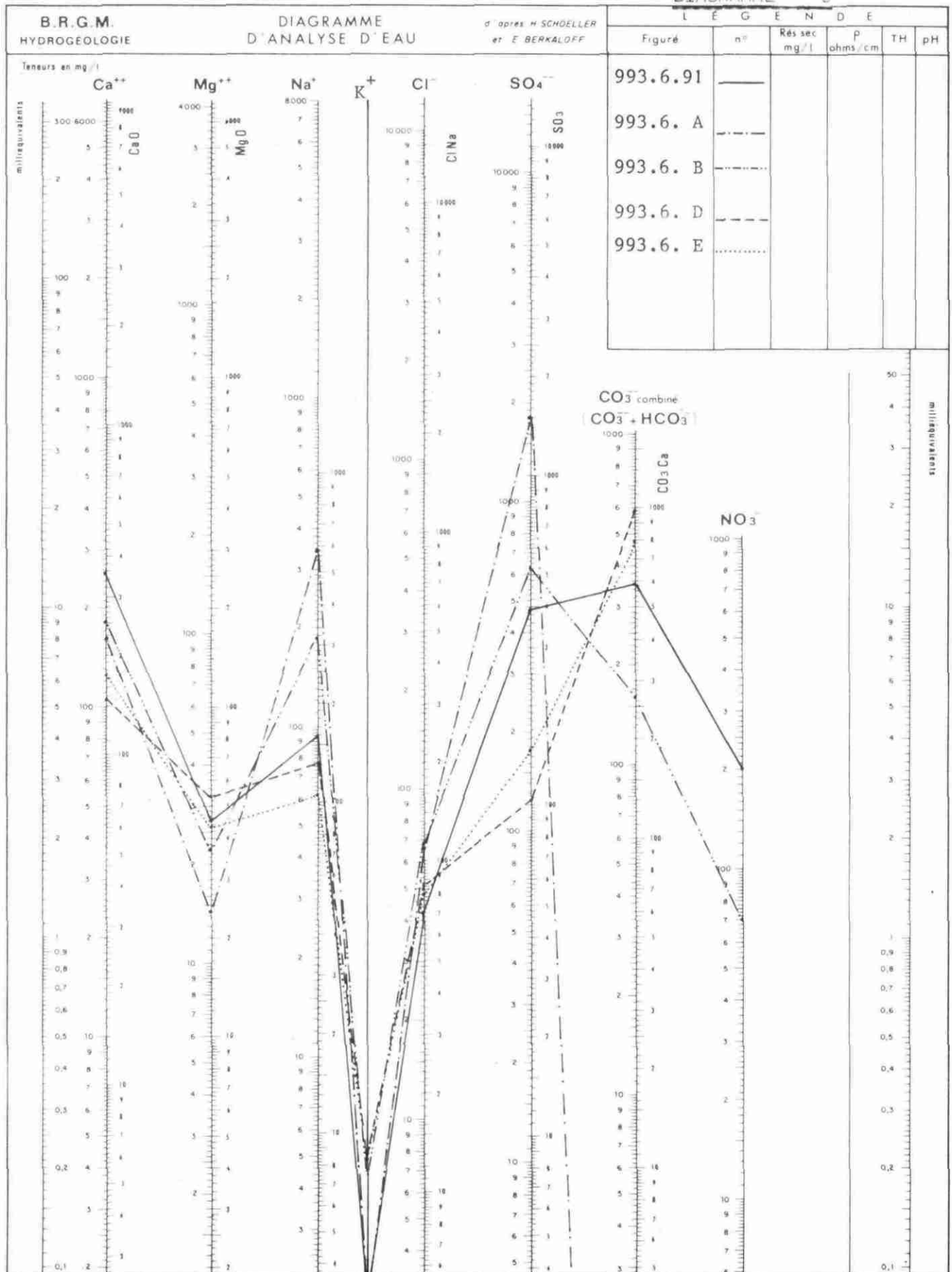
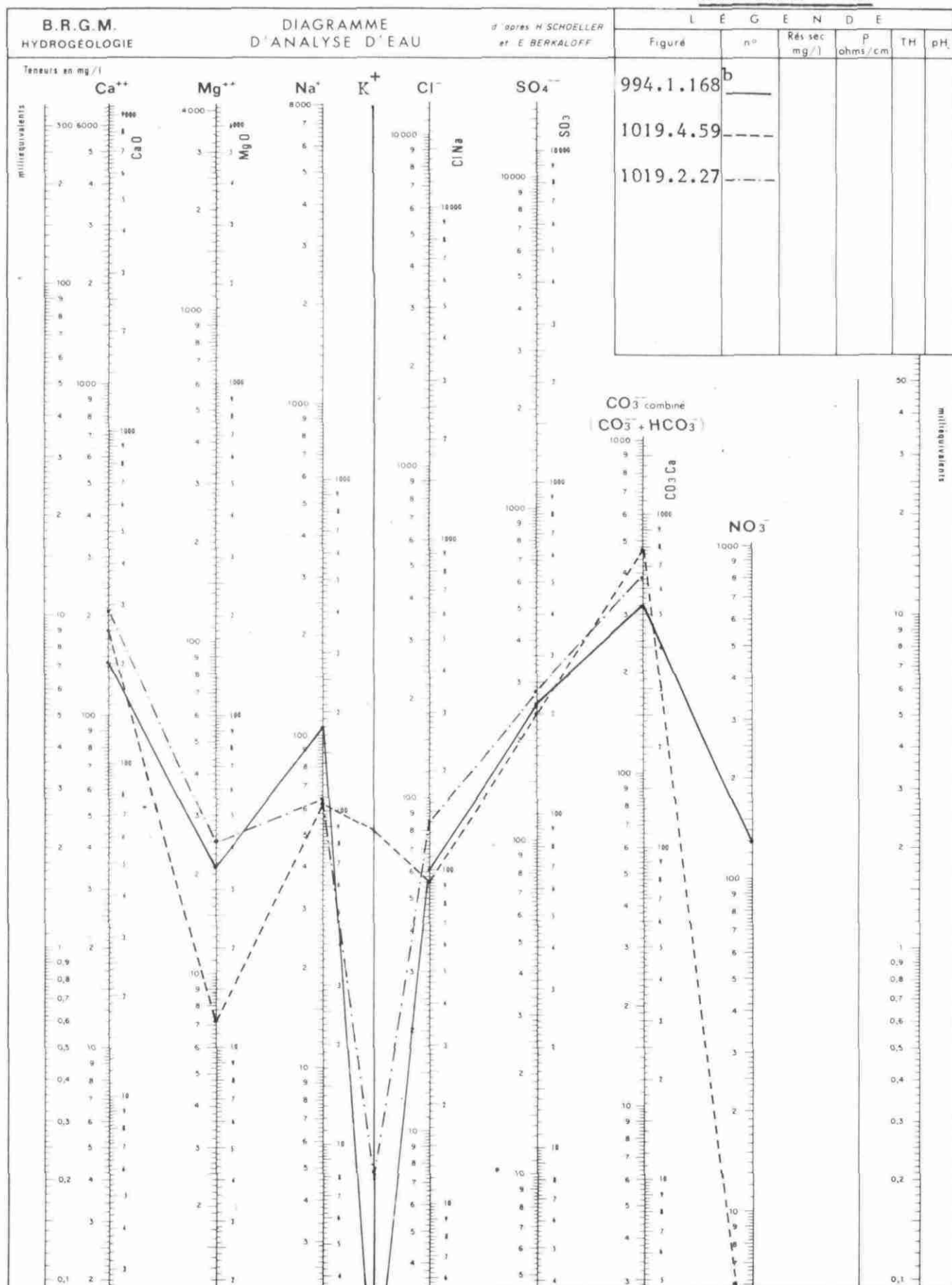


Diagramme type de pollution industrielle et domestique combinée



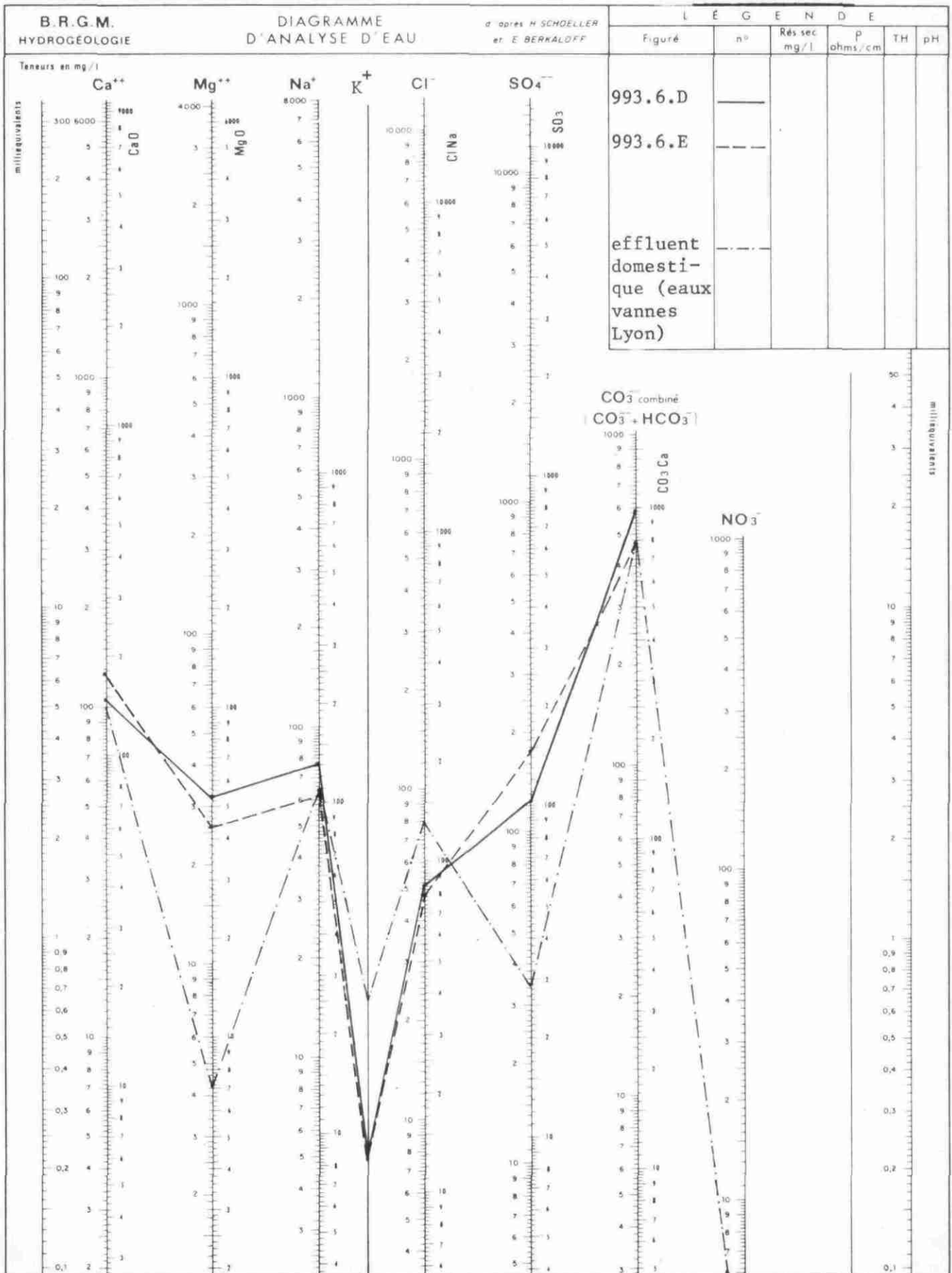
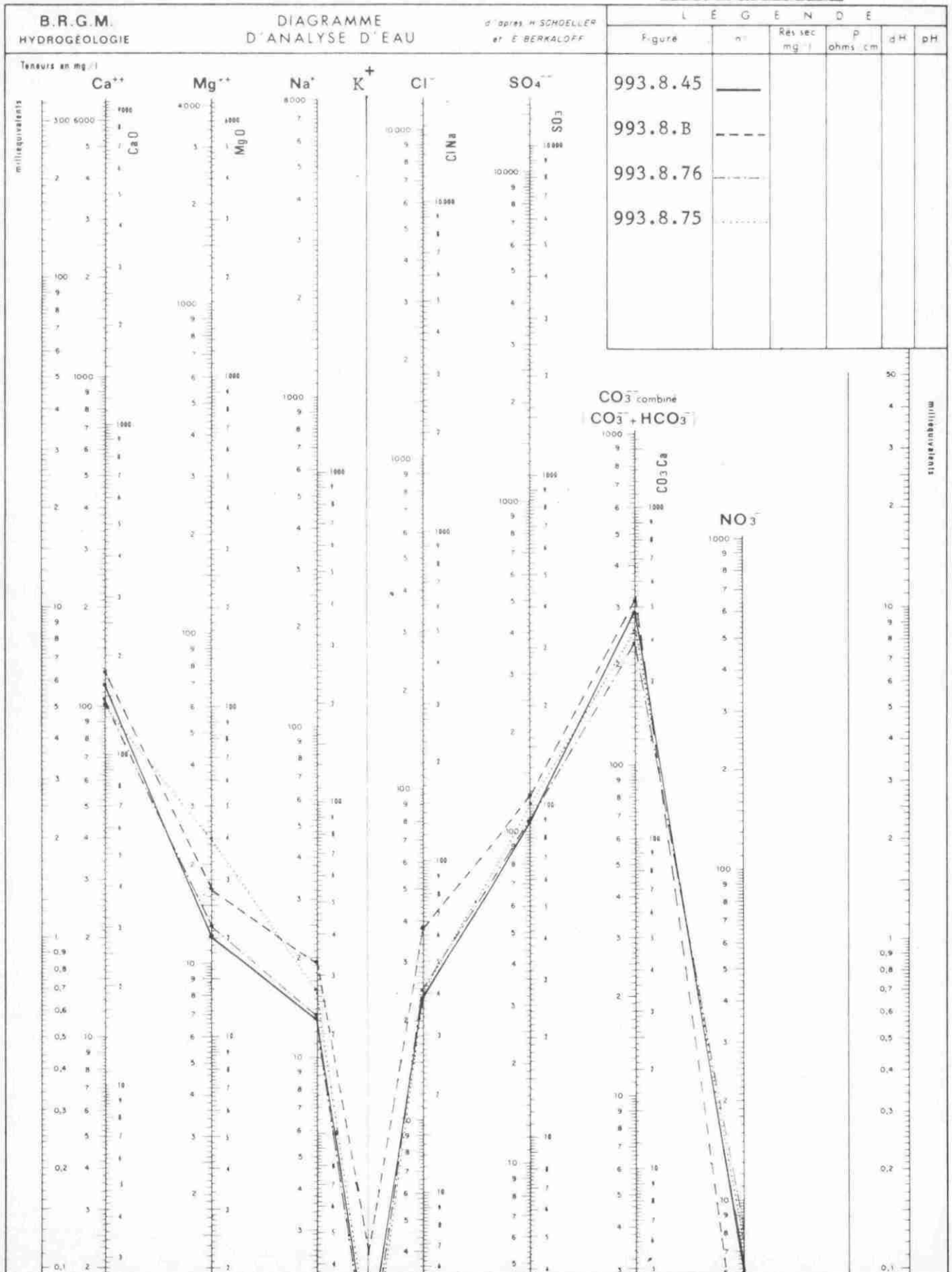


Diagramme type d'effluents



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
B.P. 6009 - 45 Orléans (02) - Tél.: (38) 66.06.60

N A P P E D E L A C R A U

(Bouches du Rhône)

ETUDE DES POLLUTIONS

MESURES D'OCTOBRE 1972

A N N E X E



Service géologique régional PROVENCE - CORSE

Domaine de Luminy
route Léon-Lachamp, 13 Marseille (9^e)

TABLE DES MATIERES

I	- Méthodes d'analyses	3
II	- Caractéristiques physiques, chimiques, bactériologiques des eaux potables	5
	II.1 - Législation des eaux potables en France	
	II.2 - Recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) Palais des Nations Genève.	8
	- Normes recommandées de qualité bactériologique	
	- Normes de qualité chimique et physique - substances toxiques	9
	- Substances chimiques tolérées dans l'eau	10
	- Concentrations maximales admissibles en éléments radio-actifs	11
	II.3 - Normes U.S. (Etats Unis d'Amérique)	12

I - METHODES D'ANALYSES

(Laboratoire de la Société des eaux de Marseille)

Précision et limite de détection

Elément	Méthode d'analyse	Précision	Limite de détection
Calcium	Complexométrie par l'EDTA	6 %	1 mg/l
Magnésium	Complexométrie par l'EDTA	6 %	1 mg/l
Sodium	Spectrophotométrie d'émission de flamme	2 %	0,01 mg/l
Potassium	Spectrophotométrie d'émission de flamme	2 %	0,05 mg/l
Chlorures	Volumétrie par le Nitrate mercurique	2 %	0,7 mg/l
Sulfates	Gravimétrie par le chlorure de Baryum	2 %	1 mg/l
Carbonates	Volumétrie par l'acide sulfurique	2 %	3 mg/l
Bicarbonates	Volumétrie par l'acide sulfurique	3 %	3 mg/l
Titre hydrotimétrique	Complexométrie par l'EDTA	3 %	0,25°
TAC	Volumétrie par l'acide sulfurique	3 %	0,25°
Matières organiques	Oxydabilité par le permanganate en milieu basique	10 %	0,1 mg/l
Nitrates	Colorimétrie par le réactif de Granval et Lajoux	5 %	0,010 mg/l
Nitrites	Colorimétrie par l'acide sulfanilique	5 %	0,010 mg/l
Ammonium	Colorimétrie par le réactif de Nessler	5 %	0,02 mg/l
Phosphates	Colorimétrie par le molybdate d'ammonium	5 %	0,010 mg/l
ABS	Colorimétrie par le bleu de méthylène	10 % pour des concen. inf. à 0,10 mg/l	0,005 mg/l

Elément	Méthode d'analyse	Précision	Limite de détection
Hydrocarbures	Extraction par l'éther de pétrole et pesée	20 % pour des concen. inf. à 0,2mg	0,02 mg/l
Fer	Colorimétrie par l'ortho-phenantroline	4 %	0,01 mg/l
Plomb	Absorption atomique	15 % pour des concen. inf. à 0,10 mg/l	0,010 mg/l
Cuivre	Absorption atomique	idem	0,005 mg/l
Arsenic	Colorimétrie par le diethyl-dithiocarbamate d'argent	10 % pour des concen. inf. à 0,01 mg/l	0,003 mg/l
Organochlorés	Extraction par l'hexane chromatographie en phase gazeuse - Détection par capture d'électrons	10 % pour des concen. inf. à 0,5 mg/l	0,01 µg/l
Turbidité	Gouttes de mastic		
Couleur	Méthode au platine cobalt		
(Odeur Saveur	Dilution de l'eau jusqu'à ce qu'elle ne présente plus d'odeur ou de saveur perceptible.		
Bactéries Coli-formes	Numération	2	
Eschérichia Coli	Numération	2	

II - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES, BACTERIOLOGIQUES DES EAUX POTABLES

II.1 - Législation des eaux potables en France⁽¹⁾

(Décret n° 61.859 du 1 août 1961, art. 1, arrêté du 10 août 1961, loi du 16 février 1964, circulaire du 15 mars 1962).

Une eau pour être considérée comme potable et pouvoir être distribuée à une collectivité, doit satisfaire aux conditions suivantes :

- 1 - Ne pas contenir d'organismes parasites ou pathogènes ;
- 2 - Ne pas contenir, dans le cas d'une eau non traitée, d'*Escherichia coli* (dans 100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau) ni de clostridium sulfito-réducteurs (dans 20 ml d'eau);
Ne pas contenir, dans le cas d'une eau traitée, d'*Escherichia coli* (dans 100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau). La présence, en petit nombre, de clostridium sulfito-réducteurs est tolérable dans une eau traitée et n'implique pas à elle seule la non-potabilité de l'eau;
- 3 - Ne pas présenter de coloration dépassant 20 unités (échelle colorimétrique ou platino-cobalt) ni une turbidité supérieure à 15 gouttes de solution alcoolique de gomme mastic à 1/1000 en période normale d'exploitation. Toutefois, dans des circonstances exceptionnelles et pour une durée limitée, il peut être toléré qu'elle atteigne 30 gouttes de mastic (dans 50 millilitres d'eau optiquement vide);
- 4 - Ne pas avoir un pouvoir colmatant dû aux éléments en suspension supérieur à 0,1 et ne pas contenir d'algues ou autres éléments figurés;
- 5 - Ne pas présenter d'indices chimiques de pollution ni de concentrations en substances toxiques ou indésirables supérieures à celles qui sont fixées dans le tableau ci-dessous :

	Concentrations limites (en milligrammes par litre)
Plomb (en Pb)	0,1
Sélénium (en Se)	0,05
Fluorures (en F)	1,0

(1) - Tiré de DEGREMONT : Mémento technique de l'eau 1972.

	Concentrations limites (en milligrammes par litre)
Arsenic (en As)	0,05
Chrome hexavalent	{ Doses inférieures au seuil de détermination analytique
Cyanures	
Cuivre (en Cu)	1,0
Fer (en Fe)	{ 0,3 au total dont : 0,2 Fe, 0,1 Mn
Manganèse (en Mn)	
Zinc (en Zn)	5,0
Composés phénoliques (en phénol)	Néant

- 6 - La minéralisation totale ne doit pas excéder 2 g par litre. En outre, l'eau ne doit pas présenter d'odeur ni de saveur désagréable;
- 7 - L'eau ne doit pas représenter une radioactivité supérieure à celle qui est définie par la réglementation en vigueur (arrêté du 7 septembre 1967). La recherche des éléments radioactifs est effectuée par des laboratoires agréés par le Ministère des Affaires Sociales après avis du Service central de Protection contre les rayonnements ionisants chargé de la coordination des mesures et de la centralisation des résultats.

Il apparaît en outre souhaitable que la concentration de certains éléments ne dépasse pas les chiffres suivants : (circulaire du 15 mars 1962)

Magnésium (en Mg)	125 mg/l
Chlorures (en Cl)	250 mg/l
Sulfates (en SO ₄)	250 mg/l

En ce qui concerne les nitrates, il devra être tenu compte du fait qu'une teneur supérieure à 10 mg/l (en N) soit 44 mg/l (en NO₃) est susceptible de provoquer des troubles, notamment chez les nourrissons.

De plus, il est désirable que le degré hydrotimétrique total soit inférieur à 30 degré français, le degré optimum paraissant s'établir aux environs de 12 à 15°.

Lorsque le traitement chimique d'une eau s'impose, il faut éviter que l'introduction des produits nécessaires à ce traitement n'influe défavorablement sur sa composition initiale, sauf évidemment dans le cas où cette modification serait elle-même recherchée. On ne devra pas en particulier y trouver, après traitement au sulfate d'alumine, une quantité d'ions aluminium supérieure à celle que contenait l'eau brute.

En ce qui concerne le traitement de l'eau par le chlore ou par ses composés, on ne devrait pas, dans des conditions normales d'exploitation, laisser subsister au départ de la distribution plus de 0,10 mg de chlore libre par litre.

Dans l'annexe C, titre IV de la circulaire du 15 mars 1962 modifiée par la circulaire du 8 septembre 1967, intitulée "Interprétation des résultats" il est écrit pour la résistivité électrique :

La résistivité électrique reflète assez fidèlement l'importance de la minéralisation d'une eau.

On considère comme de minéralisation très faible, l'eau dont la résistivité est supérieure à 10.000 ohms. C'est le cas de certaines sources des terrains granitiques.

On considère comme faible la minéralisation d'une eau dont la résistivité électrique est comprise entre 10.000 et 5.000 ohms, comme peu accentuée la minéralisation d'une eau dont la résistivité est comprise entre 5.000 et 3.000 ohms, comme moyenne la minéralisation d'une eau dont la résistivité est comprise entre 3.000 et 1.500 ohms. Cette dernière gamme de résistivité correspond, notamment, à la plupart des eaux issues des terrains calcaires.

De 1.500 à 1.000 ohms, la résistivité indique une minéralisation importante. Au-dessous de cette dernière valeur, la résistivité indique une minéralisation excessive.

La mesure de la résistivité électrique de l'eau présente un très grand intérêt car elle permet de suivre avec rapidité et précision les moindres perturbations atteignant les nappes souterraines; elle est donc très utile au laboratoire chargé de la surveillance régulière des eaux captées dans un site géologique profond.

II.2 - Recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.)
Palais des Nations - Genève

(Recommandations formulées en 1956 dans un volume intitulé "Normes Internationales Applicables à l'Eau de Boisson" revue et complétée en 1965).

- Normes recommandées de qualité bactériologique⁽¹⁾

Un traitement efficace par le chlore donne une eau pratiquement exempte de coliforme, c'est-à-dire dont la teneur en coliformes est inférieure à un germe par 100 ml. Si une eau naturelle ne peut atteindre cette norme de façon permanente, elle devra être traitée par un procédé approprié, chloration ou autre.

Les normes suivantes ont été établies en supposant les prélèvements faits à la fréquence préconisée plus haut et la densité en bactéries coliformes pour chaque échantillon exprimée par le "Nombre le Plus Probable" (indice MPN) d'organismes présents dans 100 ml d'eau.

(1) - Tiré de DEGREMONT : Mémento technique de l'eau 1972.

	Eau traitee	Eau non traitee
Dans 90 % des echantillons examines au cours d'une annee, l'indice MPN devra etre inferieur a	1	10
Dans aucun des echantillons cet indice ne devra depasser	10	20
Dans les echantillons consecutifs on ne devra pas trouver un indice MPN de	8 a 10	≥ 15
Si on analyse 5 portions de 10 ml par echantillon, il ne faudrait donc pas que dans 2 echantillons consecutifs on ait	3	4
portions donnant un indice MPN de	9,2	16
Chaque fois que l'indice MPN pour une eau traitee est superieure a	8	10
dans 2 echantillons consecutifs, il faudrait analyser sans delai un ou plusieurs echantillons supplementaires preleves au meme point ainsi que des echantillons preleves a la source dans les reservoirs a la station de traitement et en differents points du reseau. Il faudrait egalement verifier tout le processus de traitement.		
Si l'indice MPN pour une eau non traitee est regulierement egal ou superieur a		20
il faudrait envisager d'appliquer a celle-ci un traitement approprie		

- Normes de qualite chimique et physique - substances toxiques

Le tableau suivant donne les teneurs limites de certaines substances dangereuses dans l'eau de boisson :

S u b s t a n c e s	Teneurs max. admissible
Plomb (sous forme de Pb)	0,05 mg/l
Sélénium (sous forme de Se)	0,01 mg/l
Arsenic (sous forme de As)	0,05 mg/l
Chrome (sous forme de Cr hexavalent)	0,05 mg/l
Cyanures (sous forme de CN)	0,20 mg/l
Cadmium	0,01 mg/l
Baryum	1,00 mg/l

Si la teneur en l'une quelconque de ces substances dépasse la limite indiquée, l'eau ne pourra être distribuée au public pour l'usage domestique.

Pour les fluorures, la dose limite est de 1 à 1,5 mg/l mais il faut tenir compte de la dose totale quotidienne pouvant être ingérée par un individu. En considérant que certains aliments peuvent également en contenir, il est prudent de ne prendre en considération pour l'eau de boisson, que la limite inférieure de 1 mg/l.

Une teneur en nitrates de 45 mg/l (sous forme de NO_3) est une limite pour la santé de certains enfants âgés de moins de un an.

- Substances chimiques tolérées dans l'eau

La composition de l'eau différant beaucoup d'une région du monde à l'autre, on ne saurait établir de normes strictes de qualité chimique. Les limites indiquées ci-dessous, comme "admissibles" définissent une eau généralement acceptable pour le consommateur. Elles sont données à titre indicatif.

	Teneur admissible	Teneur excessive
Matières solides totales	500 mg/l	1.500 mg/l
Couleurs	5 unités*	50 unités*
Turbidité	5 unités***	25 unités***
Goût	acceptable	
Odeur	acceptable	
Fer (Fe)	0,3 mg/l	1 mg/l
Manganèse (Mn)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
Cuivre (Cu)	1 mg/l	1,5 mg/l
Zinc (Zn)	5 mg/l	15 mg/l
Calcium (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnésium (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
Sulfates (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
Chlorures (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
pH	7 à 8,5	< 6,5 ou > 9,2
Sulfate de Mg + Sulfate de Na	500 mg/l	1.000 mg/l
Composés phénoliques (sous forme de phénol)	0,001 mg/l	0,002 mg/l
Extrait chloroformique sur charbon (ECC : polluants organiques)	0,2 mg/l	0,5 mg/l
Alcoylbenzène sulfonates	0,5 mg/l	1,00 mg/l

* Echelle colorimétrique au platino-cobalt.

*** Unités turbidimétriques.

- Concentrations maximales admissibles en éléments radio-actifs

En l'absence de données plus précises, les valeurs ci-après indiquées sont provisoirement considérées comme les maxima applicables à l'eau de boisson destinée à l'usage courant :

Strontium 90	30×10^{-6}	microcuries/l
Radium 226	10×10^{-6}	-
Concentration bêta totale (en l'absence de strontium 90 et d'émetteurs alpha)	1.000×10^{-6}	-

II.3 - Normes U.S. (Etats Unis d'Amérique)

Paramètres physiques et composés chimiques. Microorganismes		U . S S T A N D A R D S	
		Maximum souhai- table	maximum admissi- ble
Couleur unités Pt-Co		(3*)	15
Odeur T.O.N. ⁵		(absence*)	3
Goût		(absence mauvais goût)*	—
Turbidité mg/l silice		(0,1 *)	5
Extrait sec à 110° C mg/l		(résidu filtra- ble 200*)	—
pH		—	—
Radioactivité		(100 pc/l*)	1 m μ c/l ¹
Solides dissous mg/l		500	—
TH °F		—	—
Extrait chloroforme (C.C.E.) ⁴		0,2 (0,04*)	—
Composés organiques C.C.E + C.A.E ⁴		(C.A.E. 0,10*)	—
<u>TOXIQUES</u>			
Arsenic	mg/l	0,01	0,05
Baryum	mg/l	—	1
Cadmium	mg/l	—	0,01
Chrome VI	mg/l	—	0,05
Cyanure	mg/l	0,01	0,2
Plomb	mg/l	—	0,05


Paramètres physiques et composés chimiques. Microorganismes		U . S . S T A N D A R D	
		Maximum souhaita- ble	Maximum admis- sible
Nitrates en NO ₃	mg/l	45	—
Selenium	mg/l	—	0,01
Argent	mg/l	—	0,05
<u>AUTRES COMPOSES</u>			
Chlorure (en Cl)	mg/l	—	250
Cuivre	mg/l	1 (0,2%)	—
Fer dissous	mg/l	0,3(0,05%)	—
Manganèse	mg/l	0,05 (0,01%)	—
Subst. phénolique (en phénols)	mg/l	0,001	—
Sulfates (en SO ₄)	mg/l	250	—
Zinc	mg/l	5 (1 %)	—
Détergents en équivalent (ABS)	mg/l	0,5 (substances actives au bleu de méthylène 0,2%)	—
<u>MICROORGANISMES</u>			
Organismes coliformes totaux		(absence d'orga- nisme coliforme*)	1 colonie/100 ml/mois. Cri- tères statis- tiques de fré- quences et va- leurs absolues (MF.MPN) ³
Origine des normes et standards		Drinking Water Standards 1962 U.S. Dept. of Health, Education and Welfare	

* : voir page 14


1. Si la dose d'émetteurs alpha et de strontium 90 est négligeable.
3. MF. MPN Membran Filter. Most Probable Number.
4. CCE-CAE : Carbon Chloroform Extract-Carbon Alcohol Extract.
5. T.O.N. : Threshold Odor Numbers
- *. Objectifs de qualité de l'eau potable de l'AWWA. - Board of Directors 28/1/68 (n'ont pas encore valeurs de standard).

CARTE PIEZOMETRIQUE


Ech.: 1/100.000




Courbe hydro-isohypse
(altitude en mètres)
(septembre-octobre 72)



Ligne de partage des
eaux souterraines








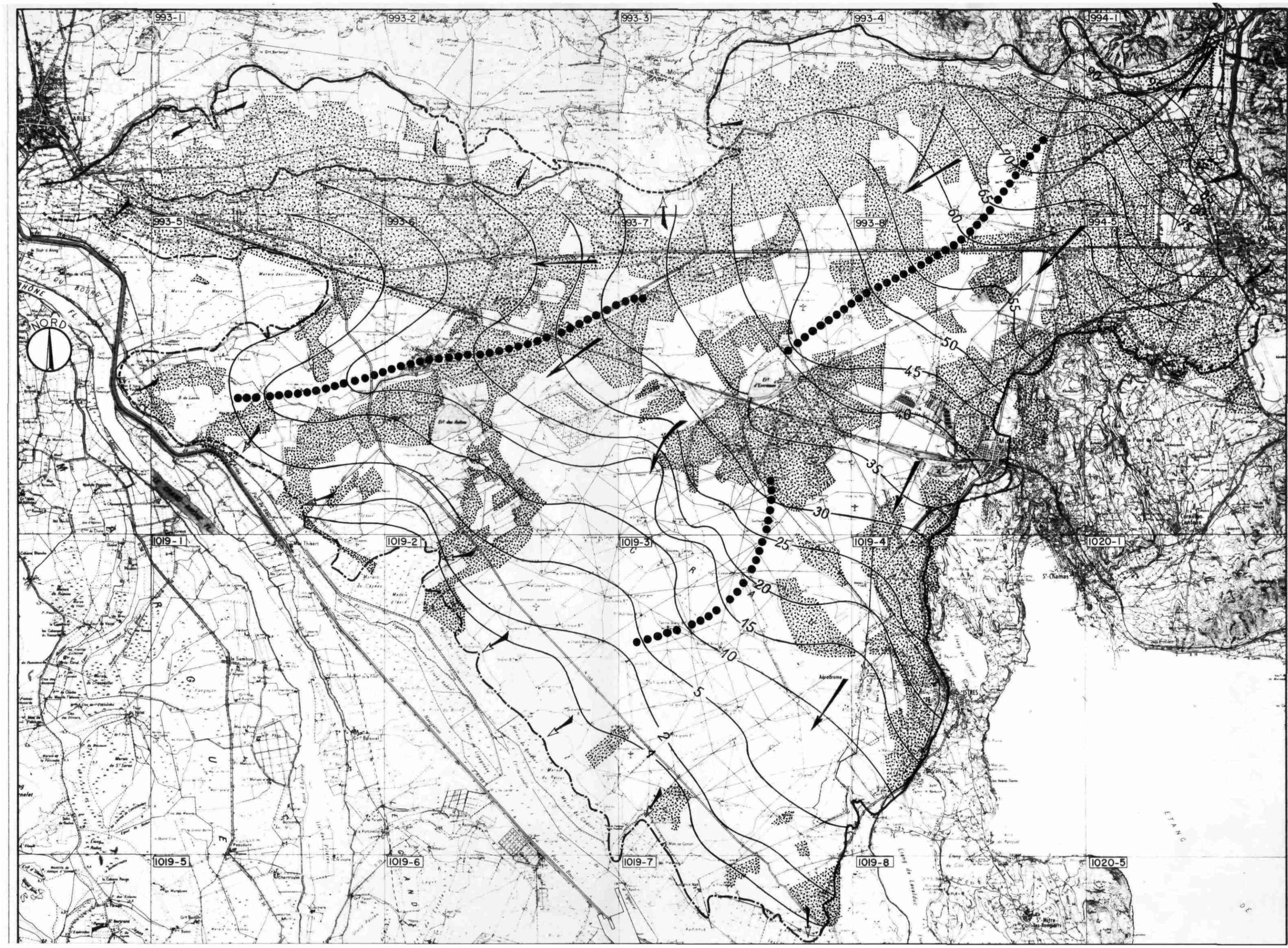
Sens d'écoulement des
eaux souterraines

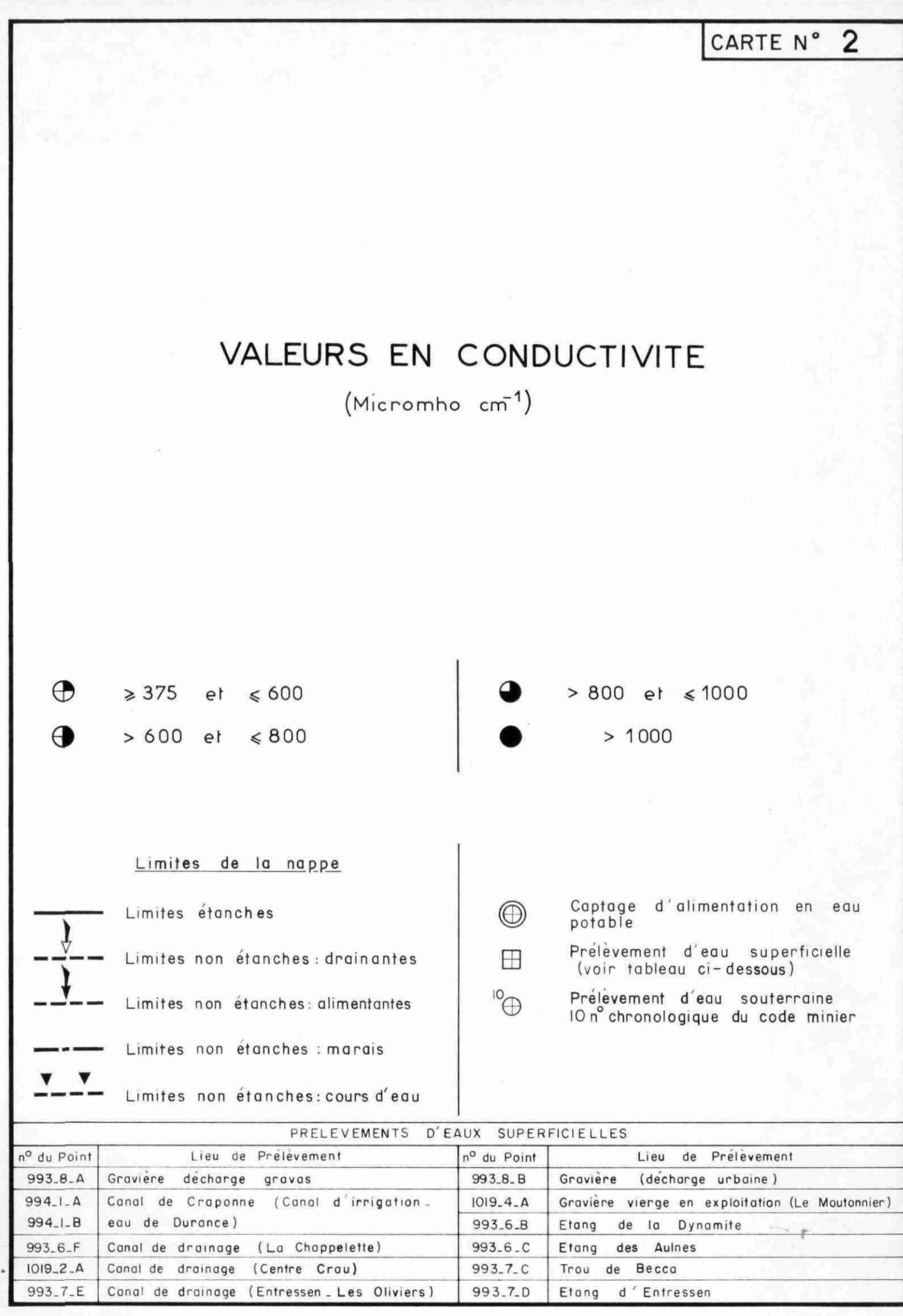
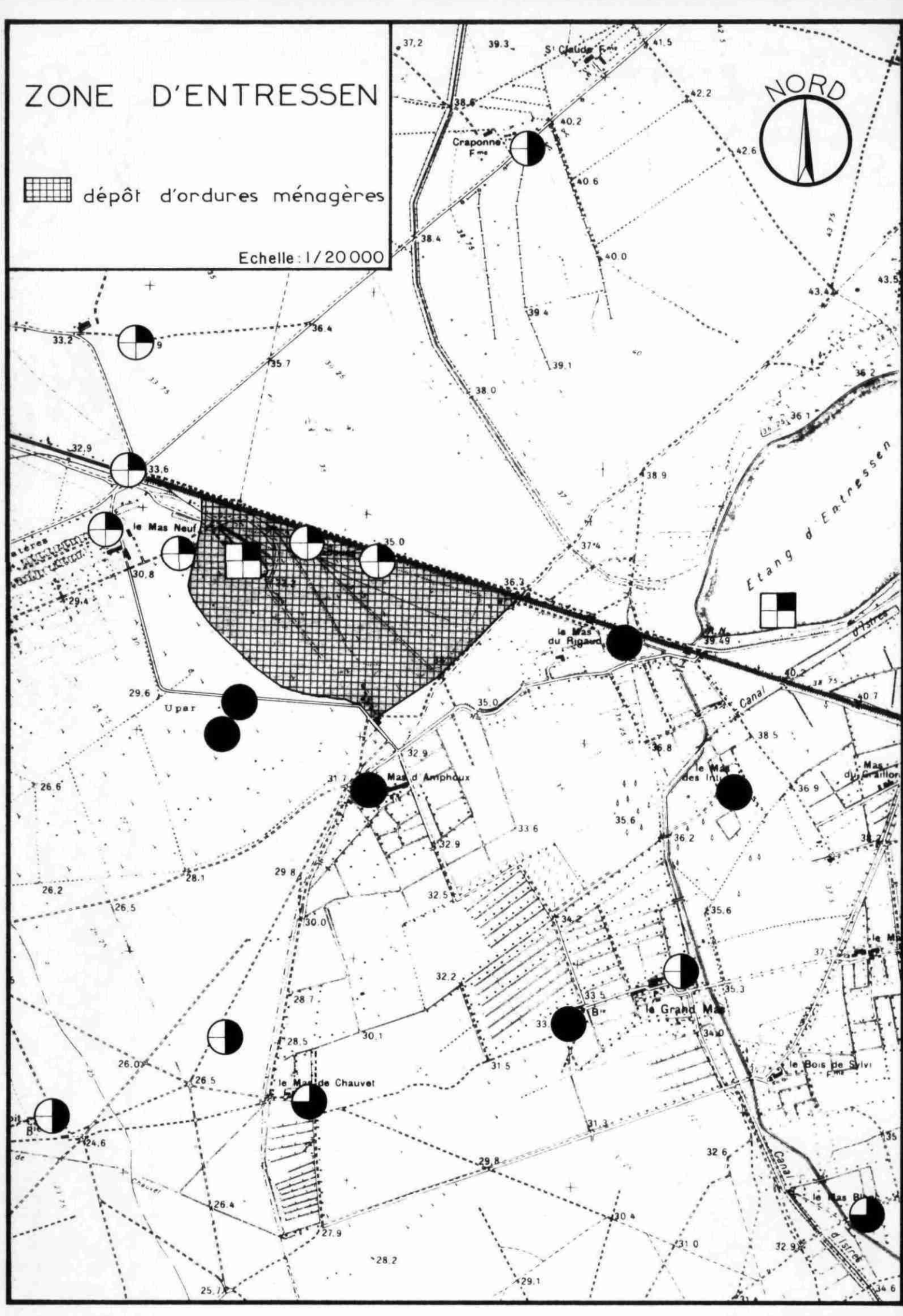
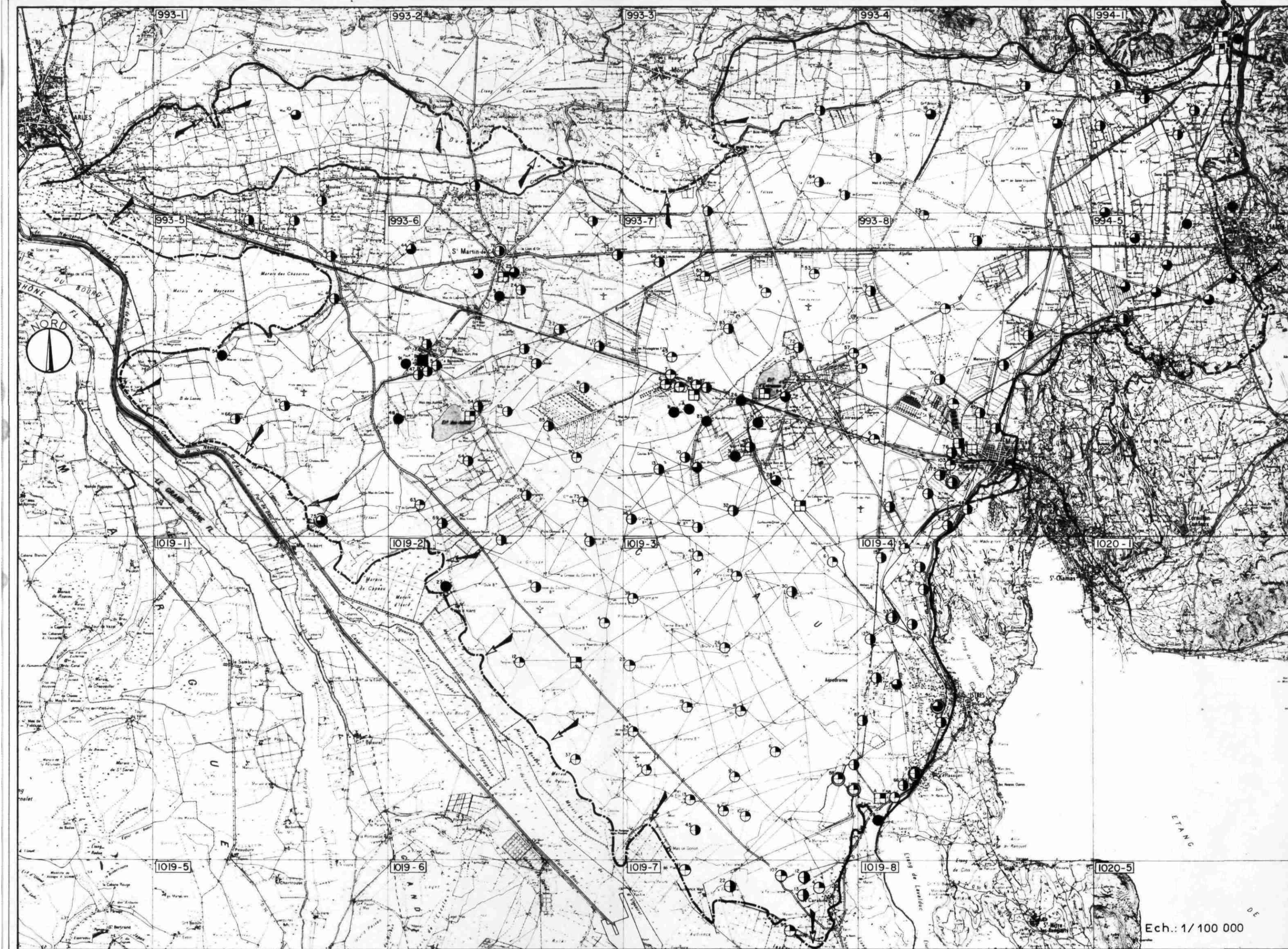


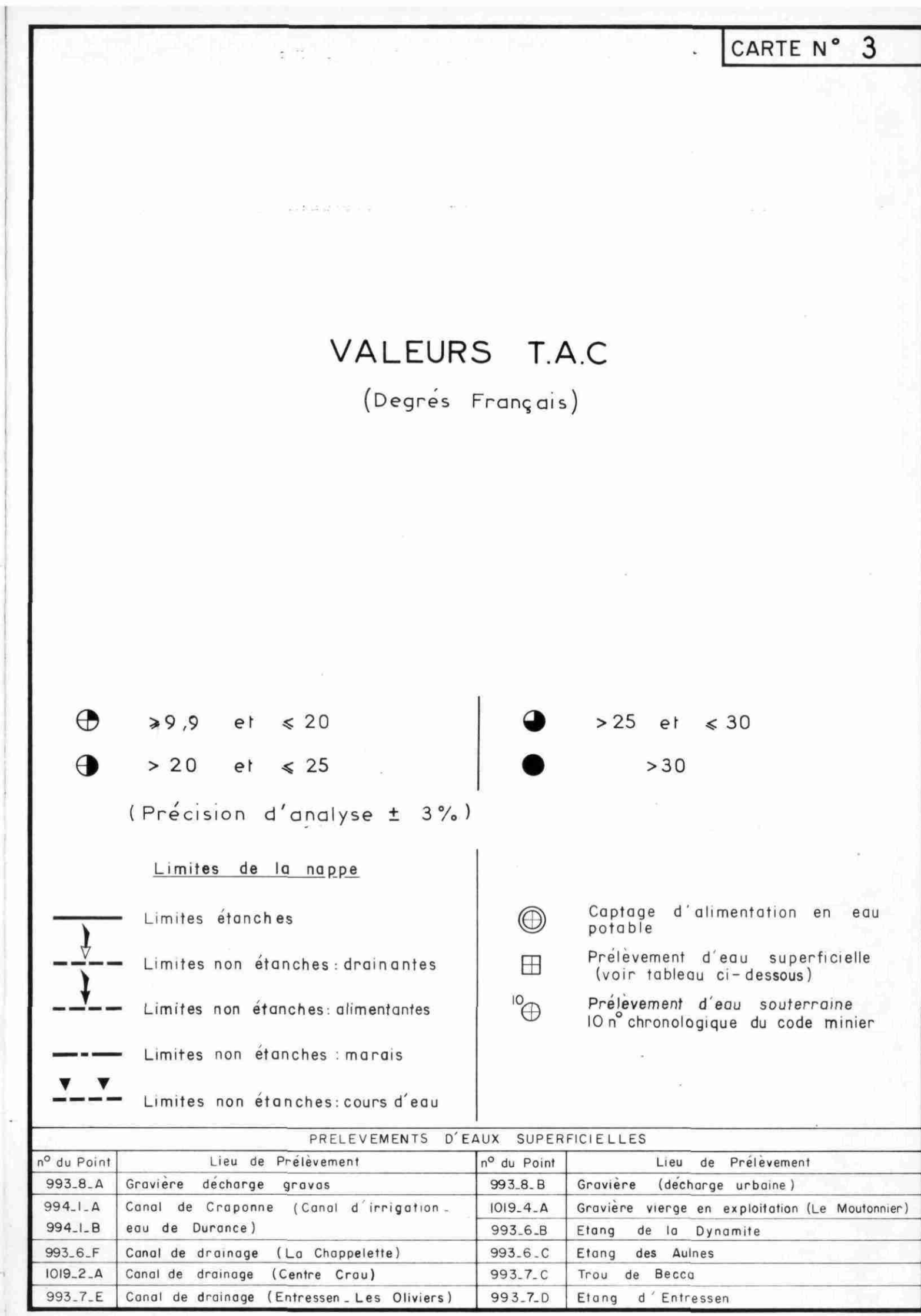
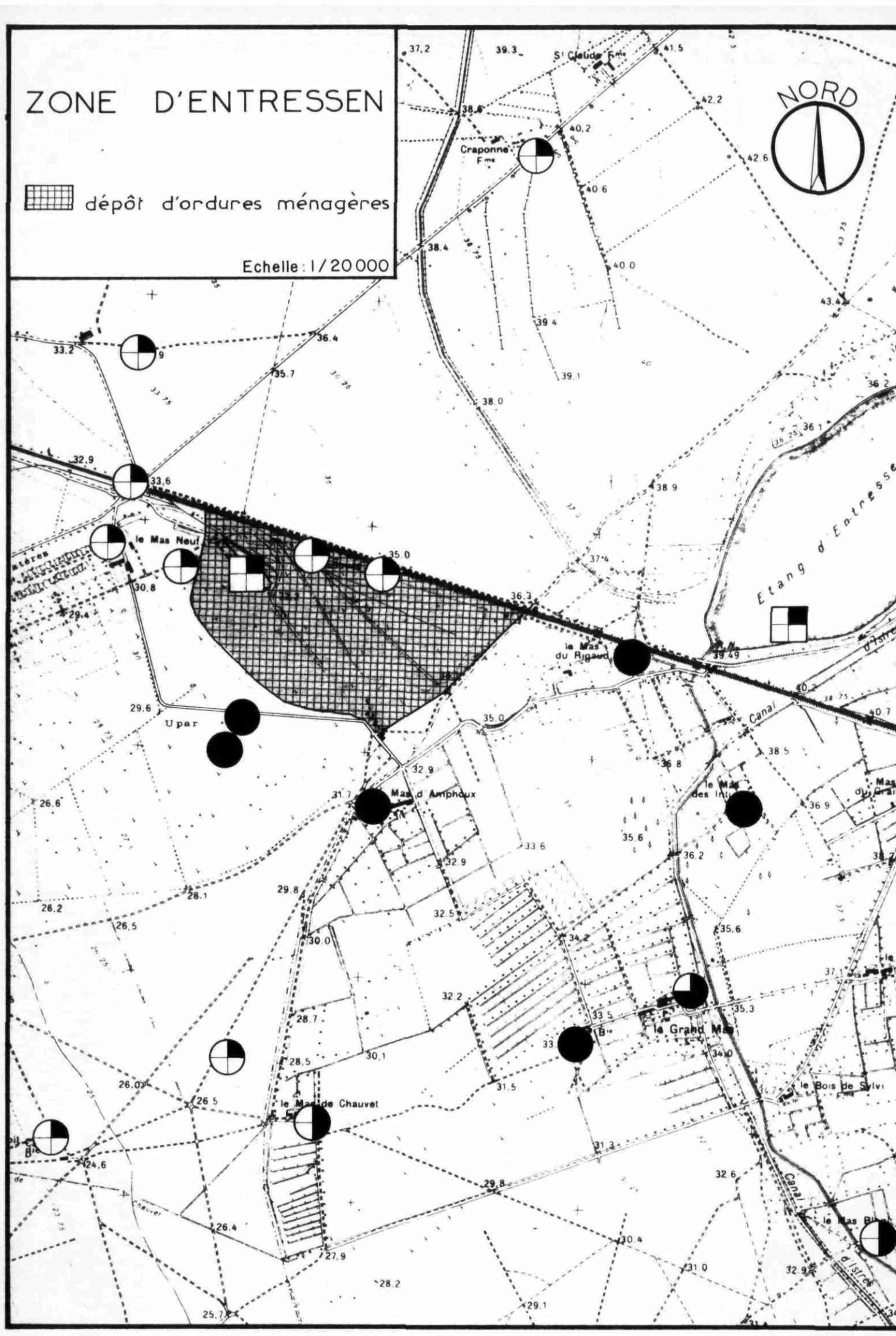
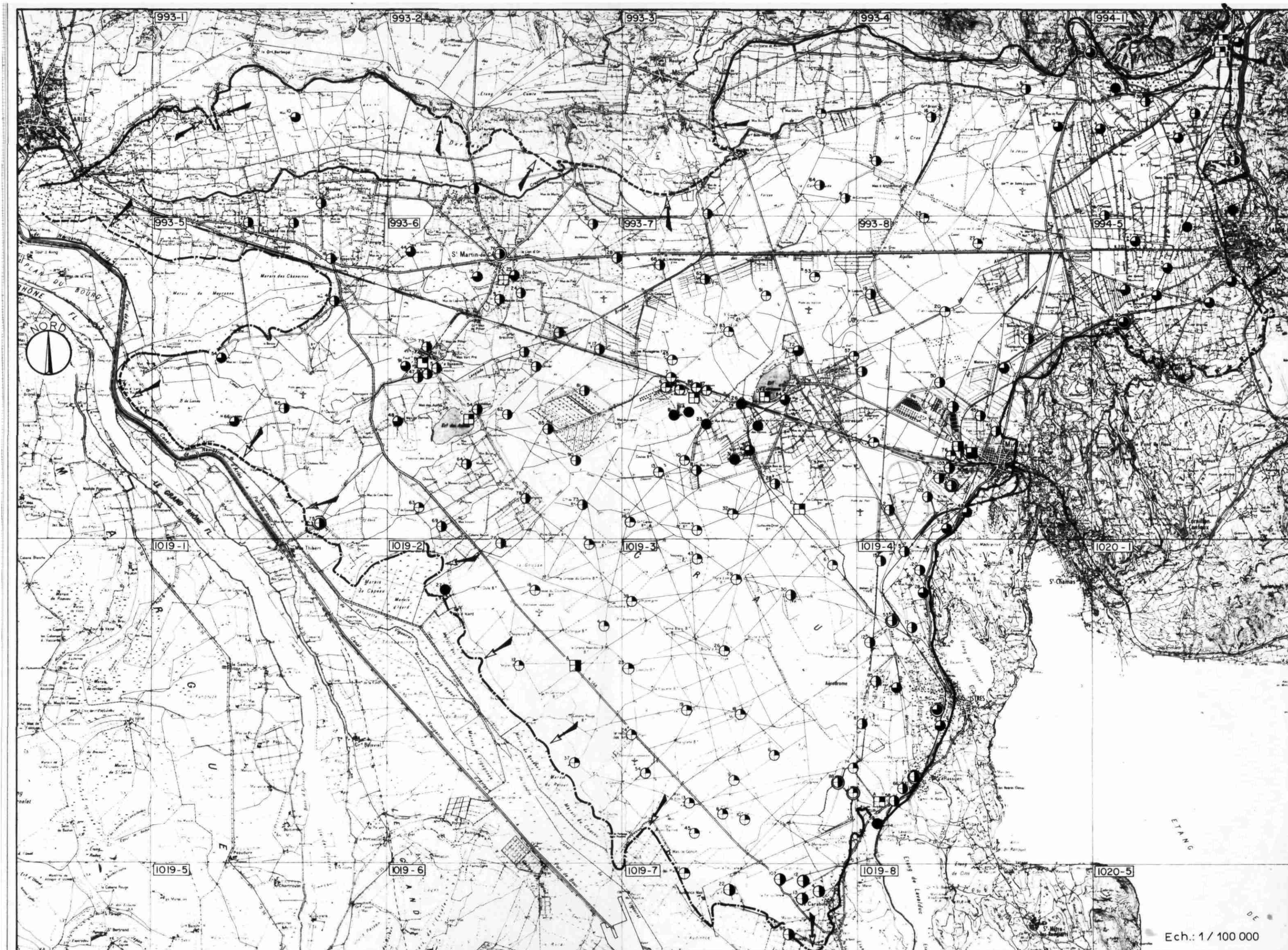
Surface irriguée

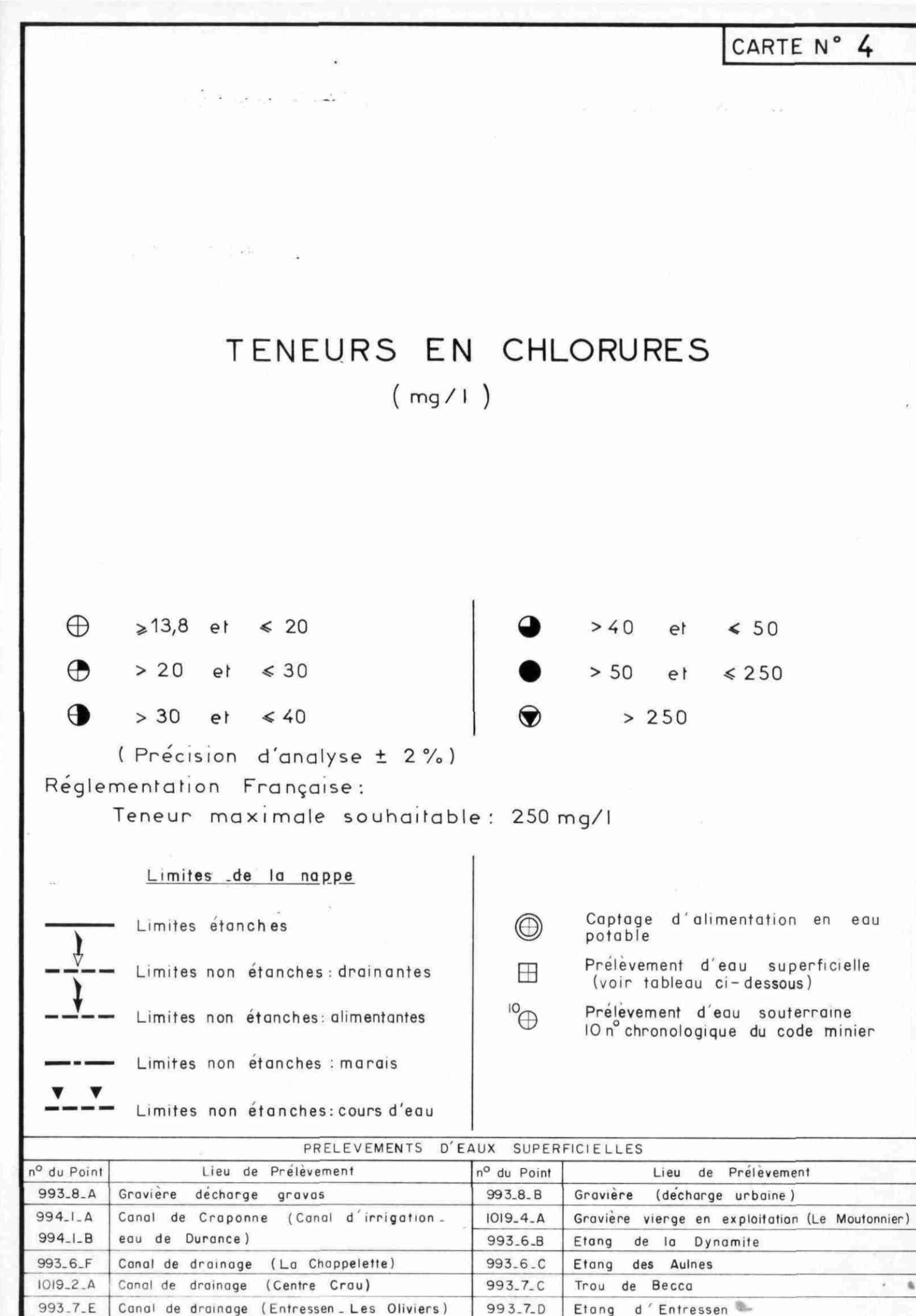
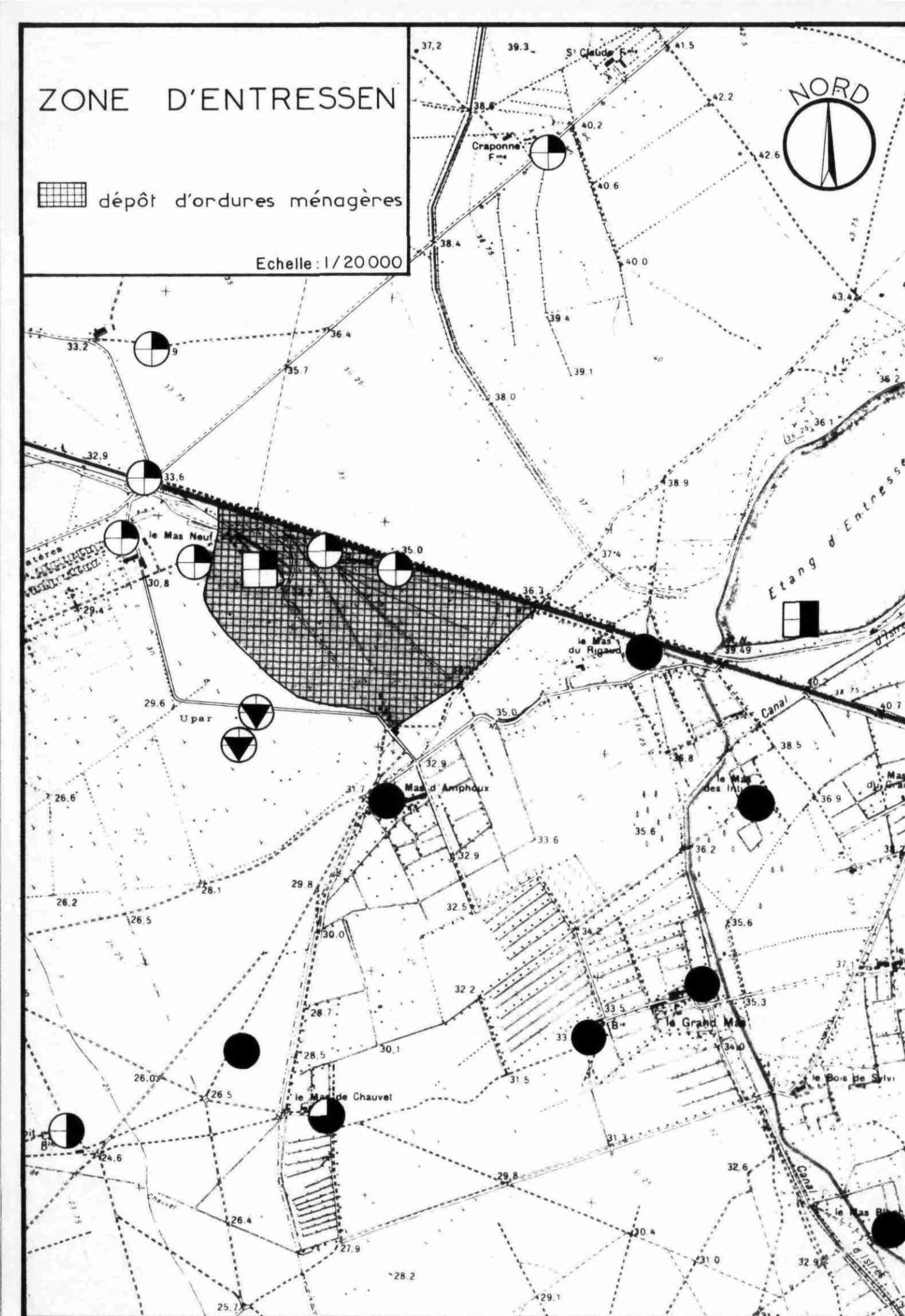
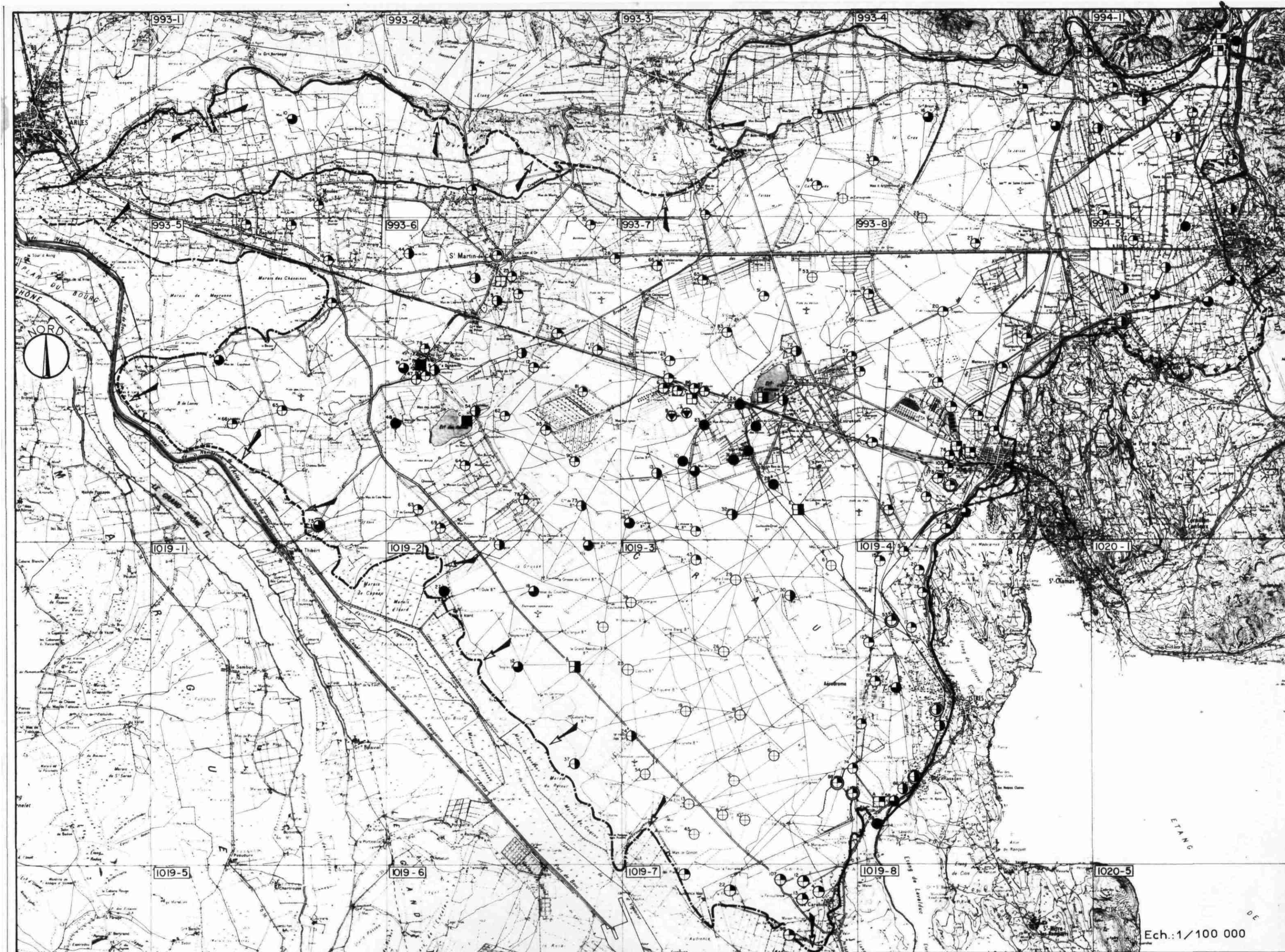
Limites de la nappe

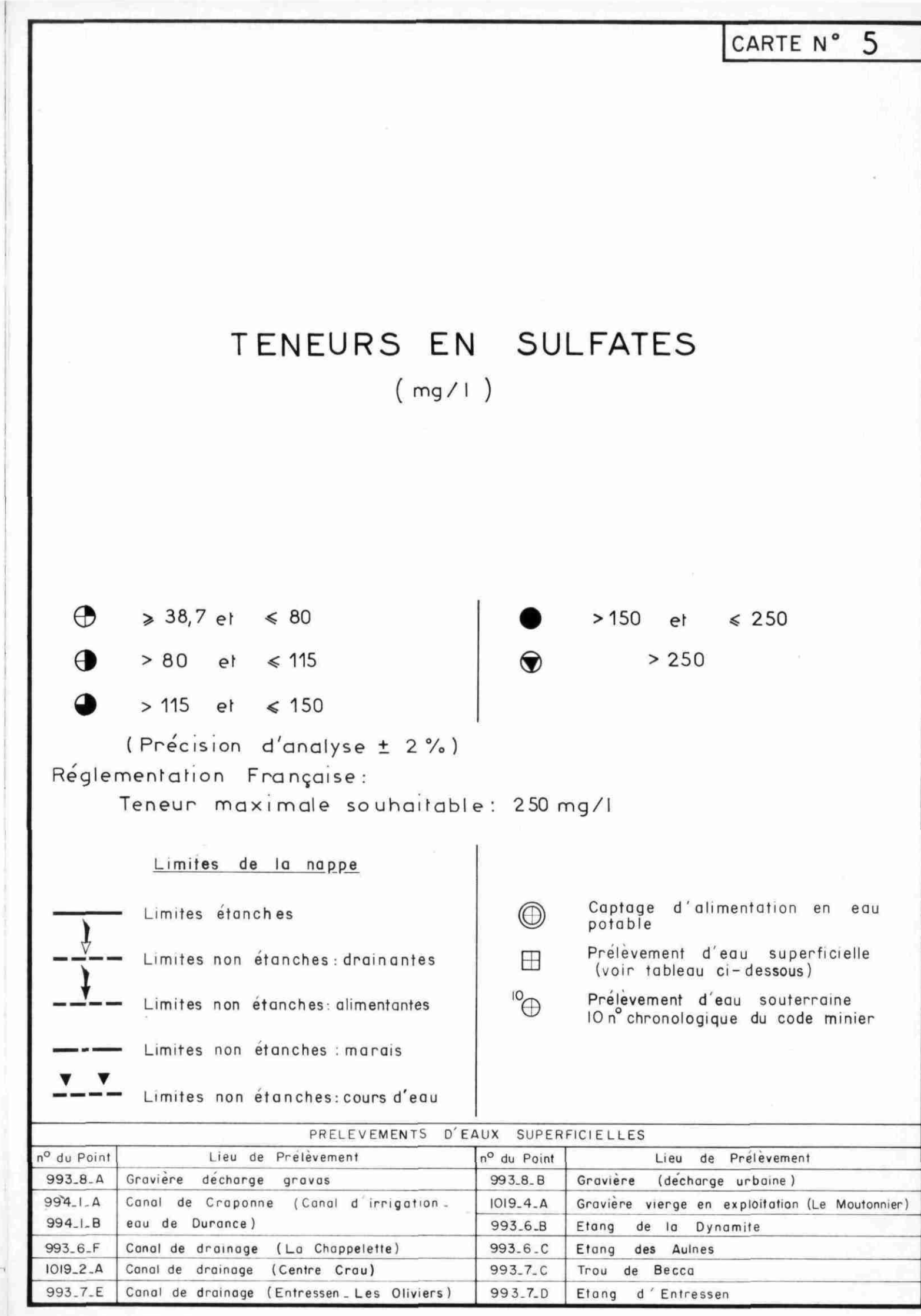
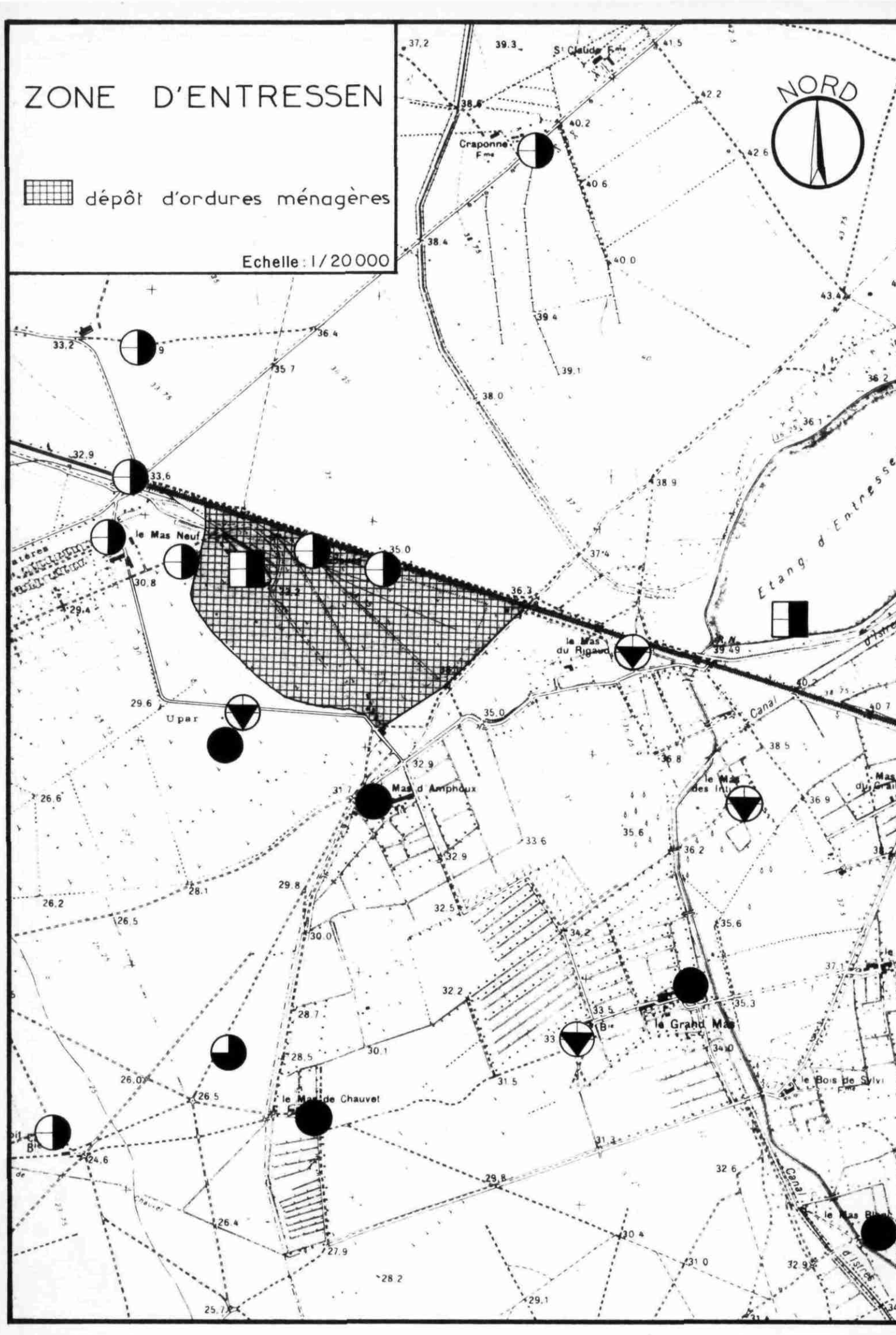
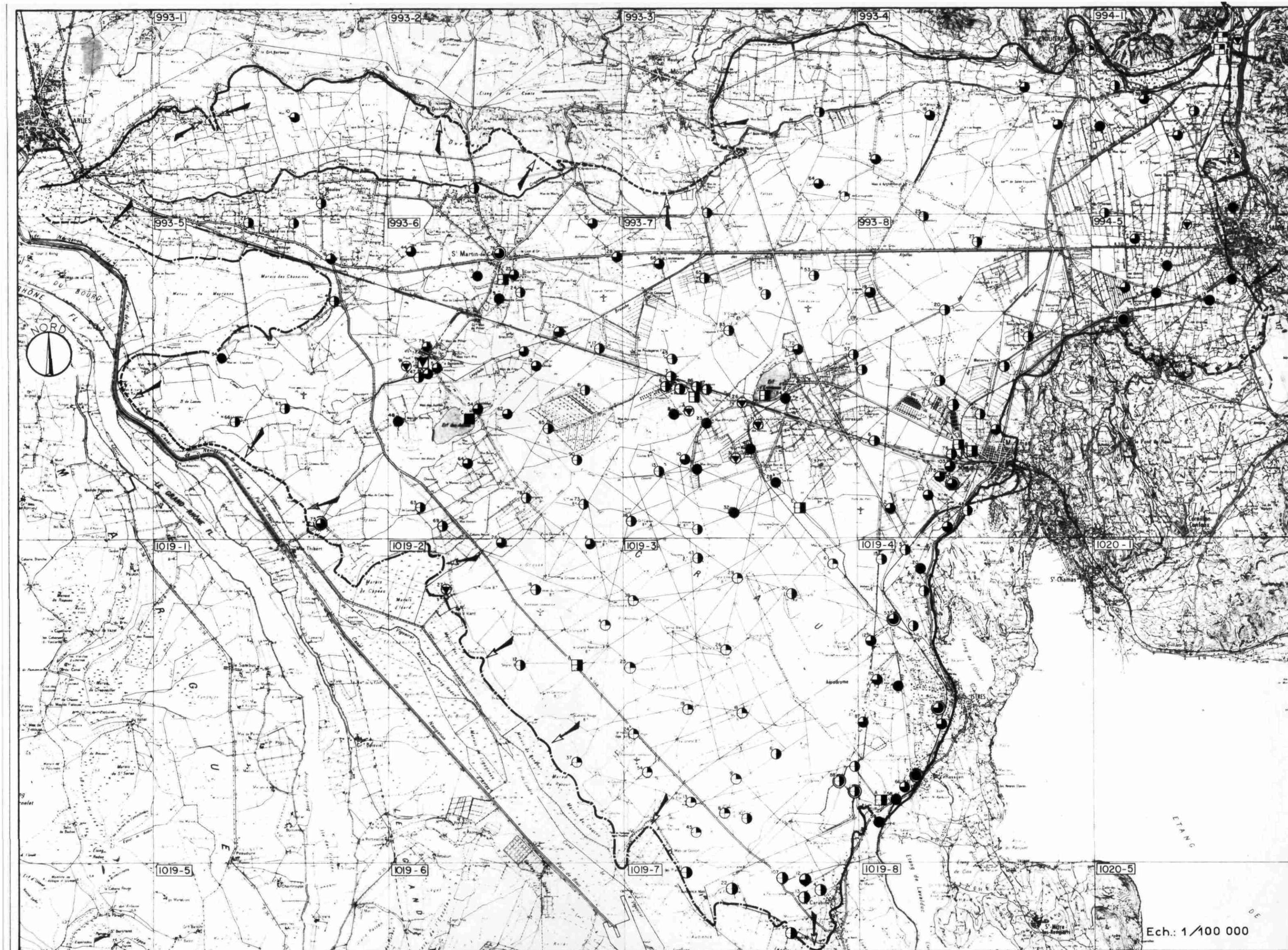
	Limites étanches		Limites non étanches: marais
	Limites non étanches: drainantes		Limites non étanches: cours d'eau
	Limites non étanches: alimentantes		

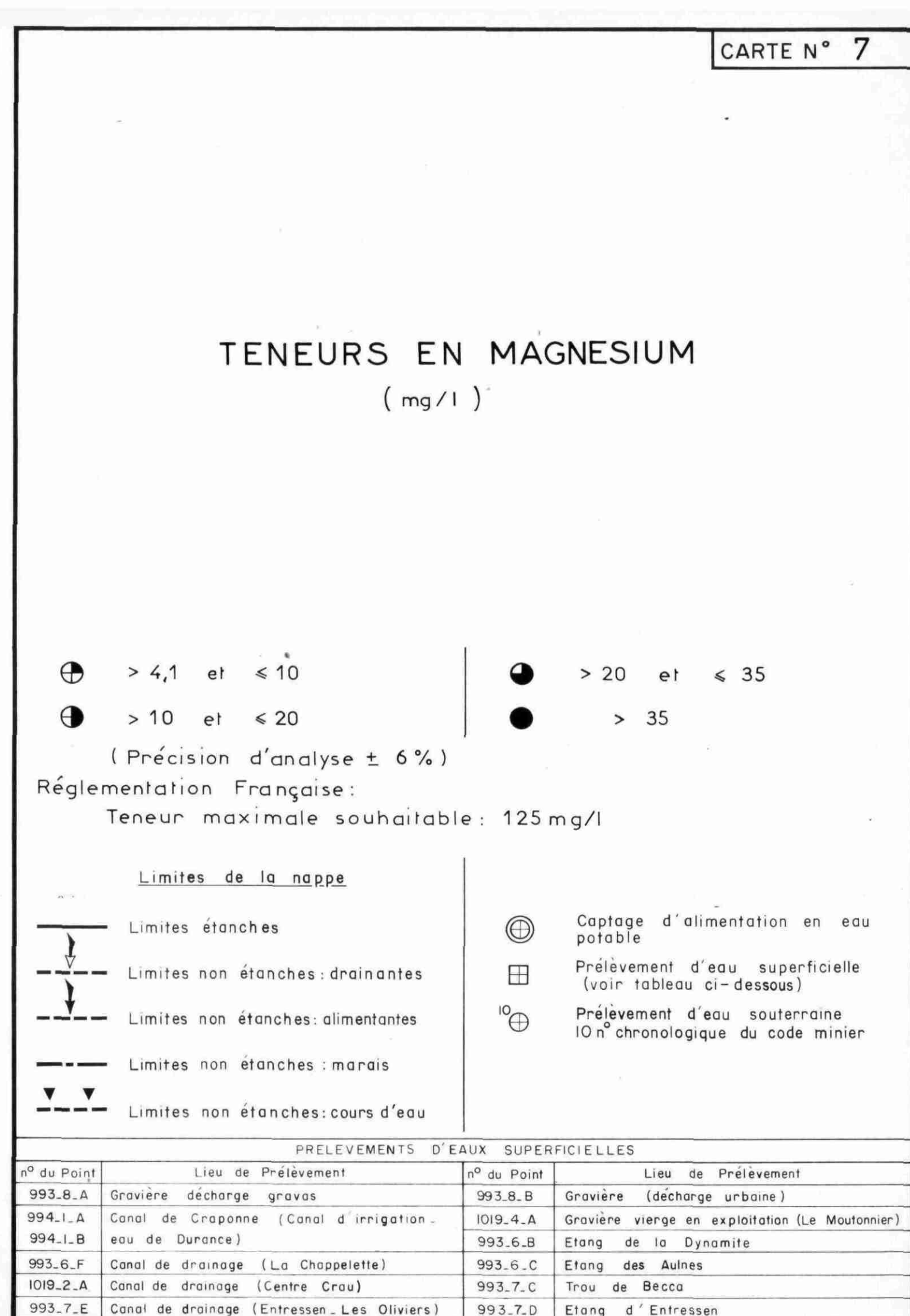
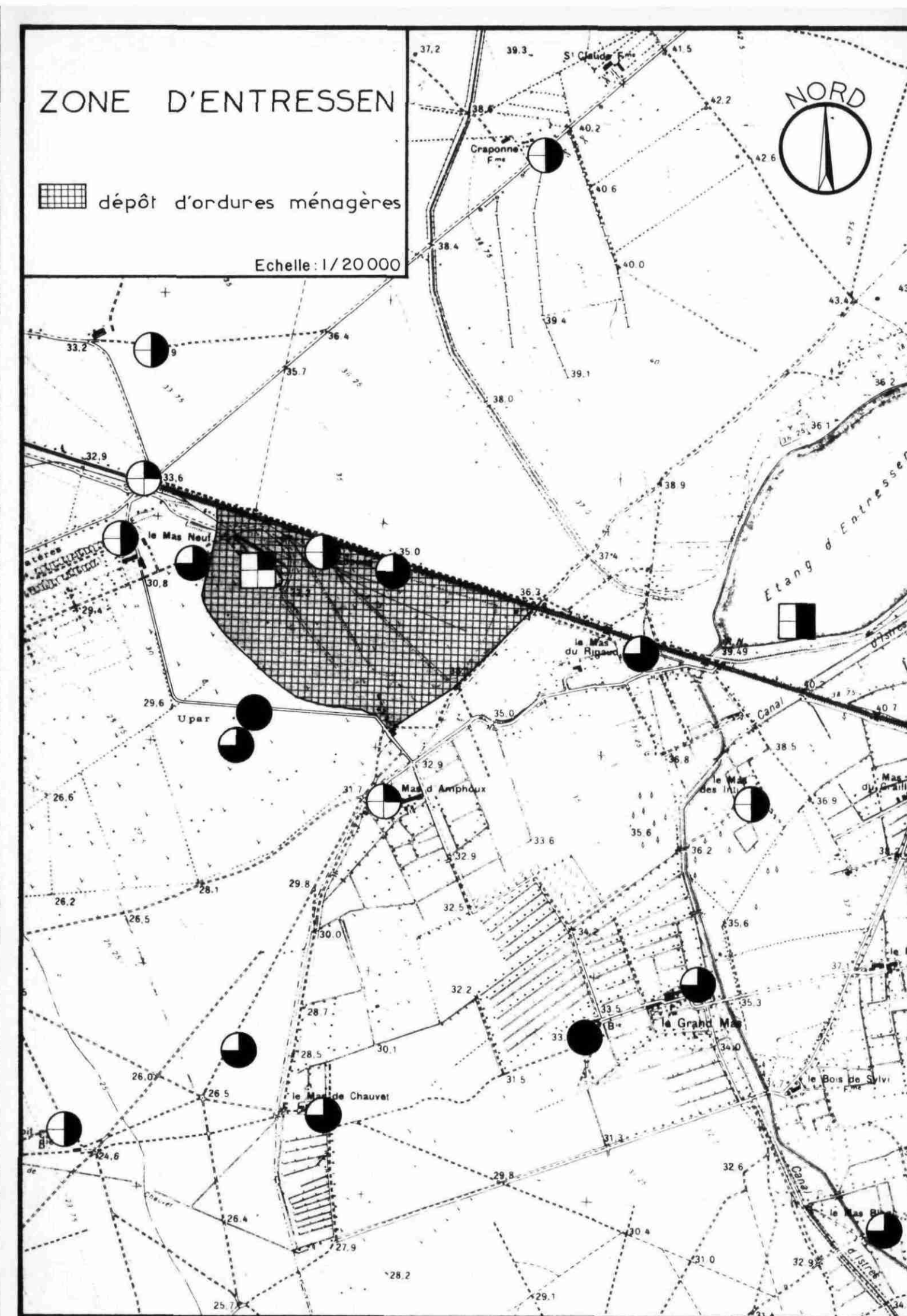
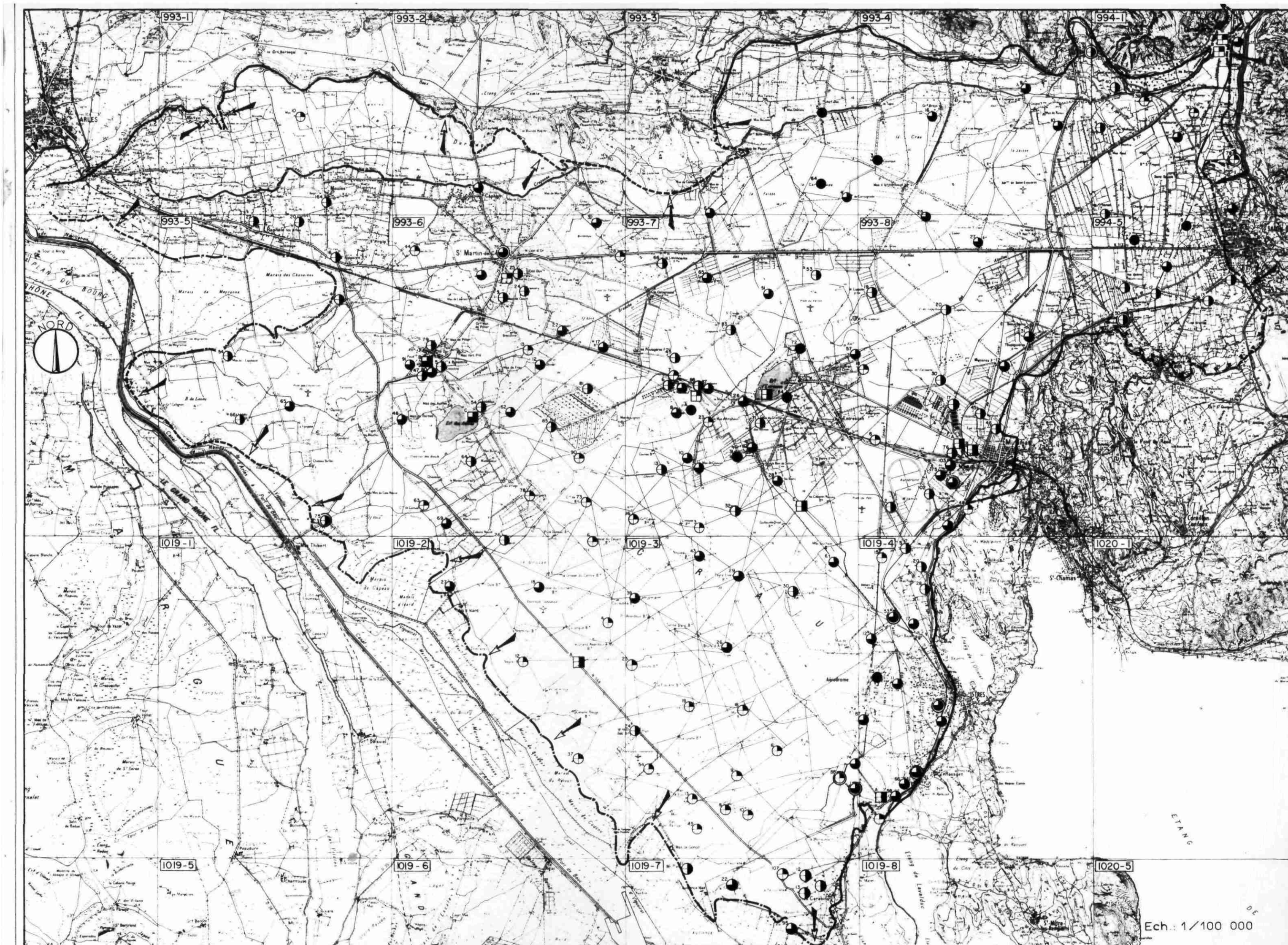


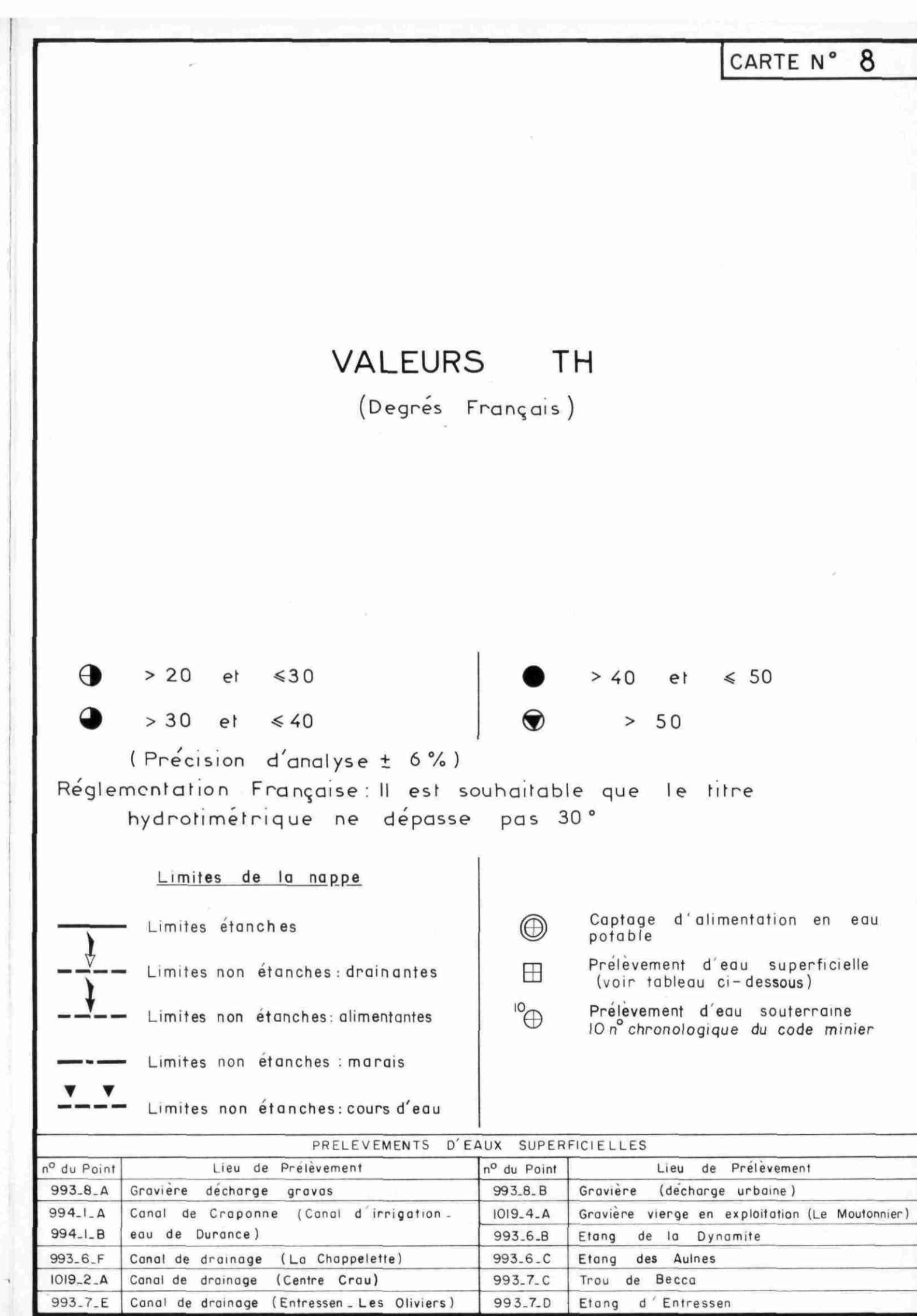
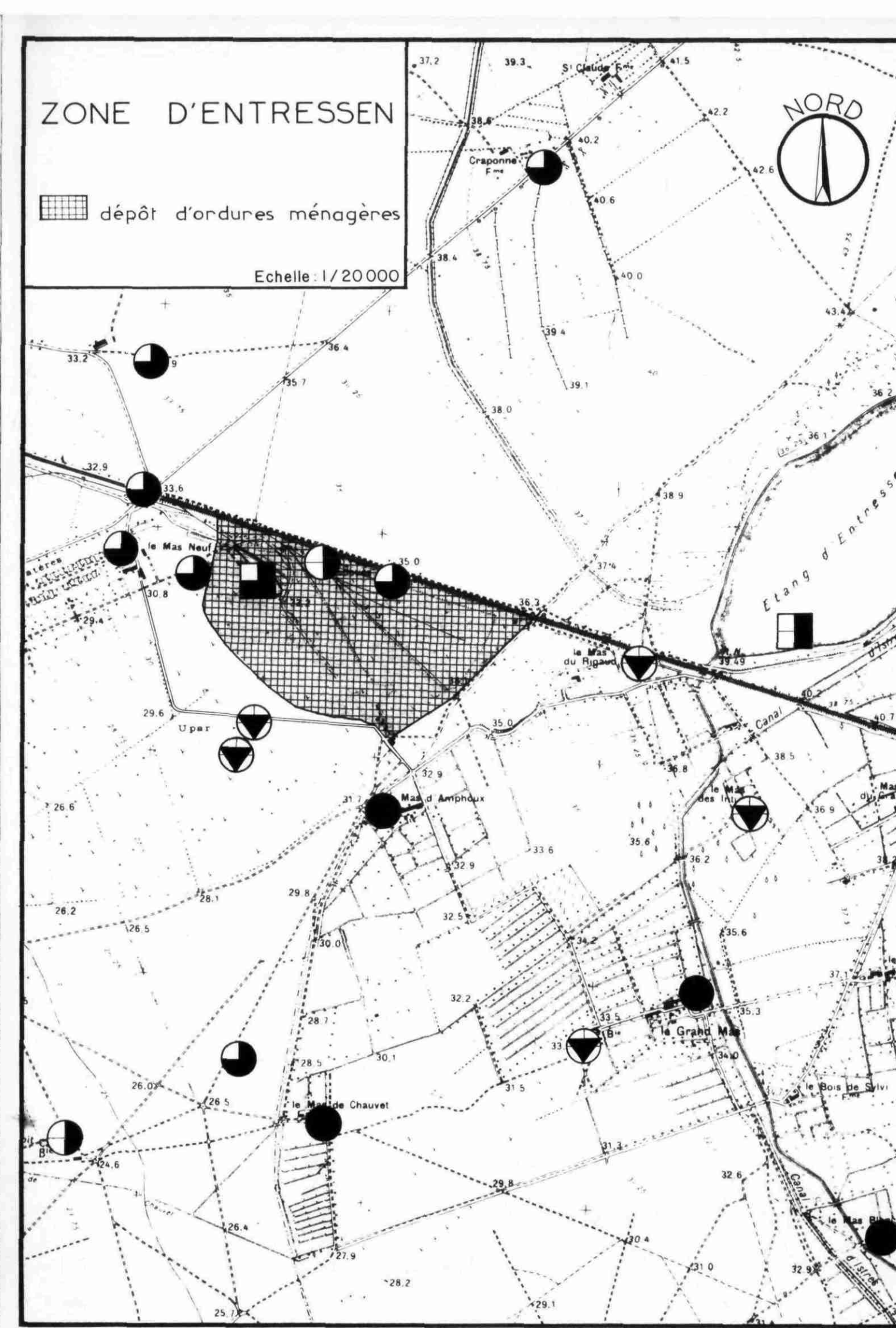
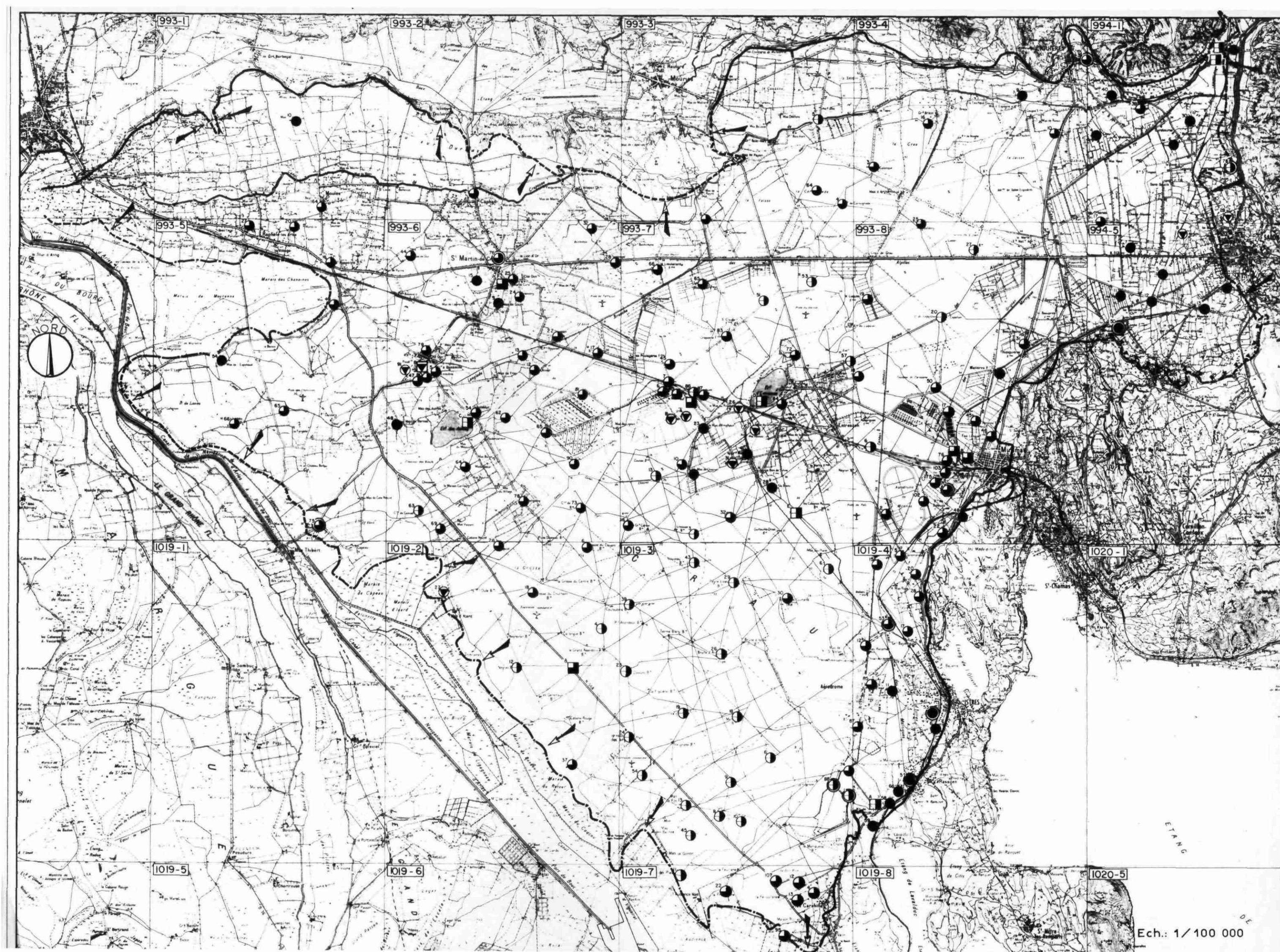


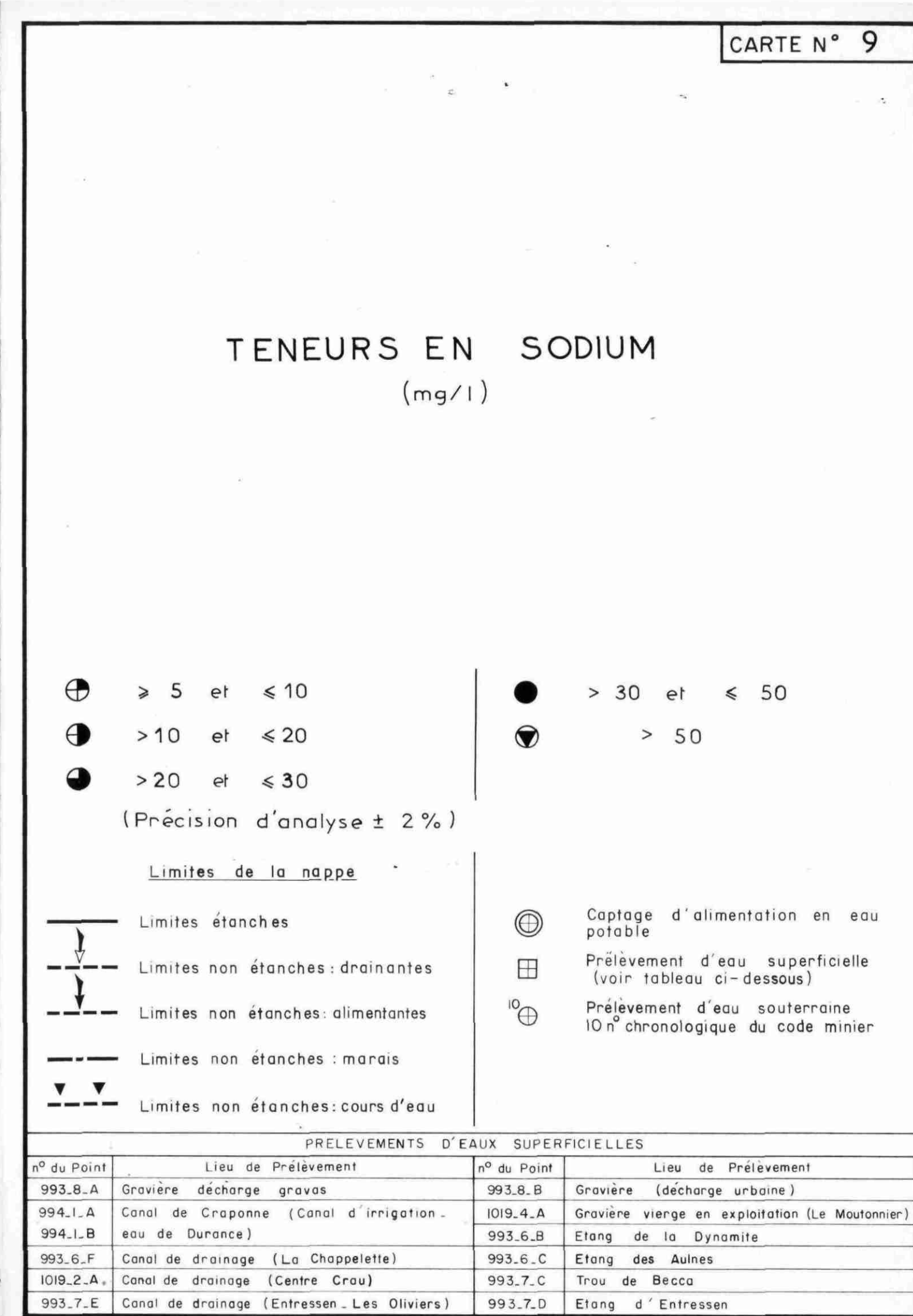
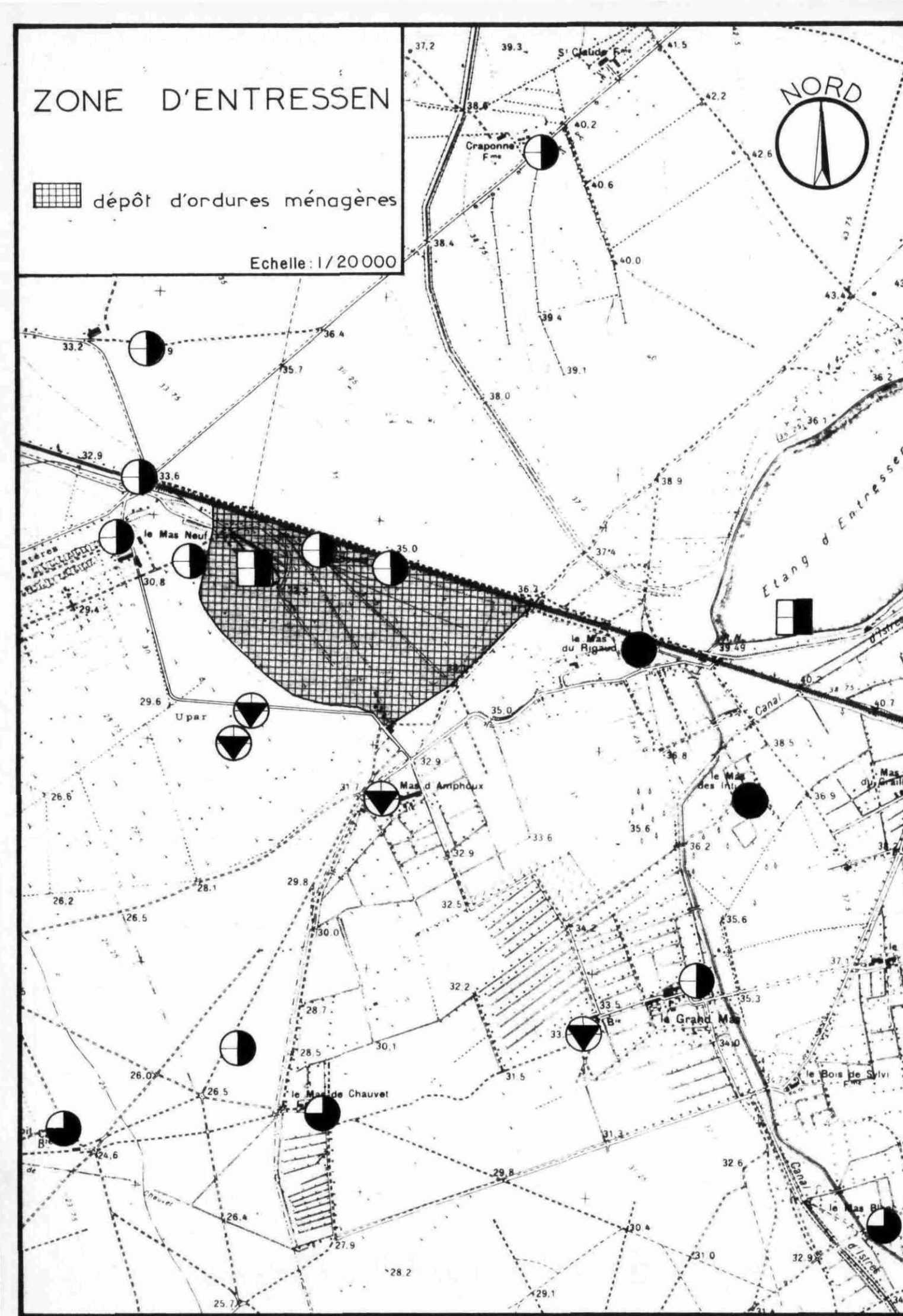
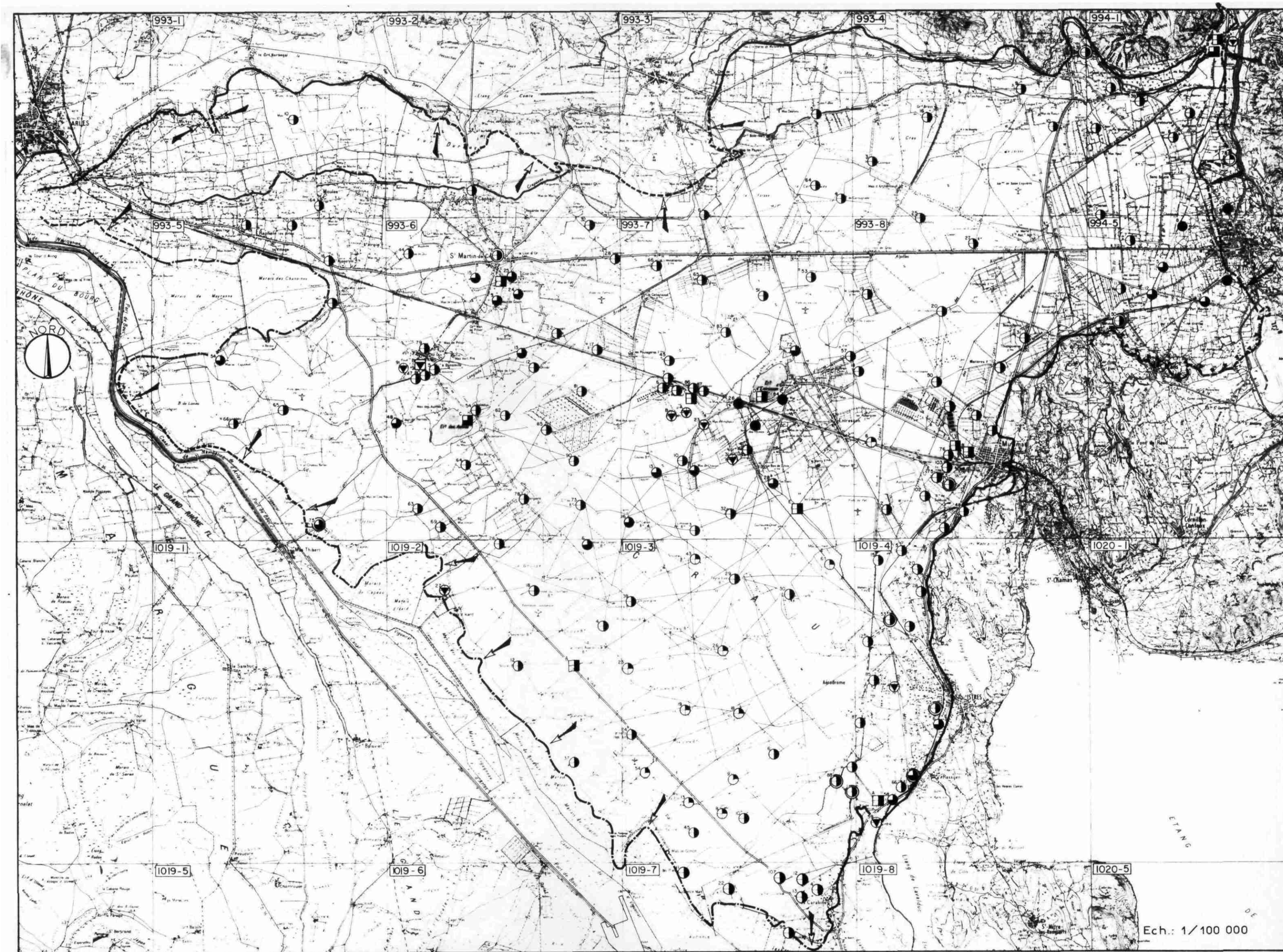


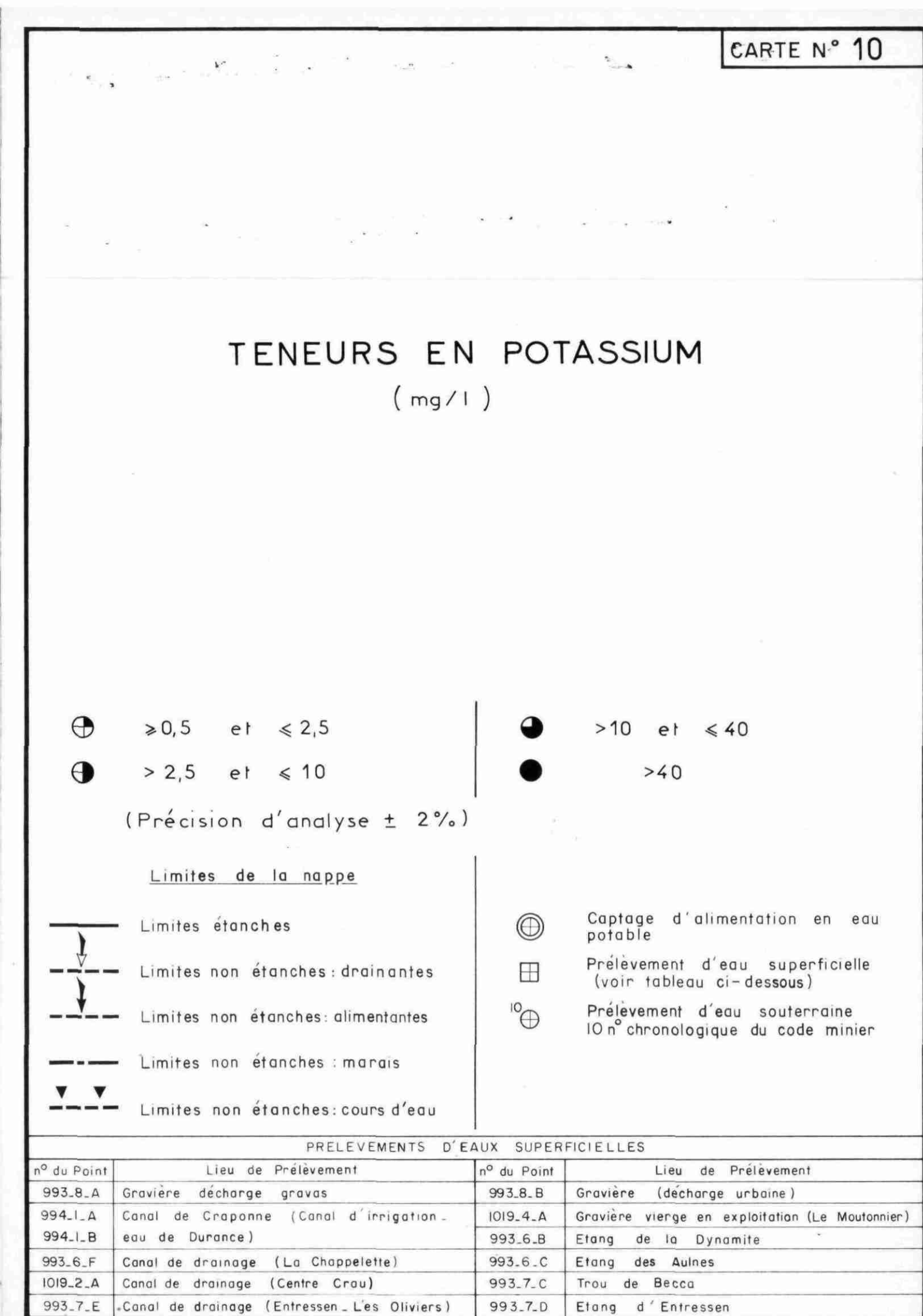
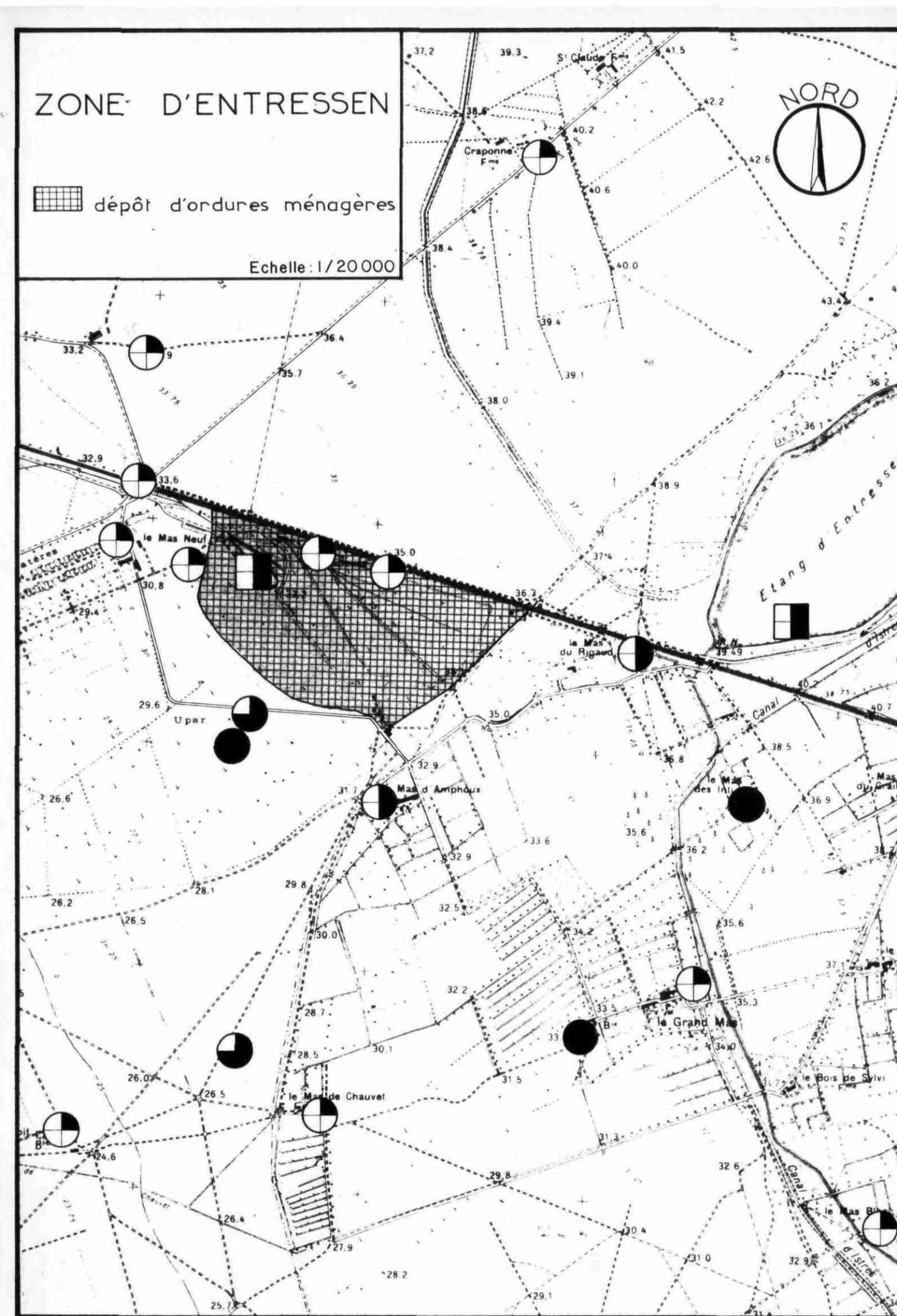
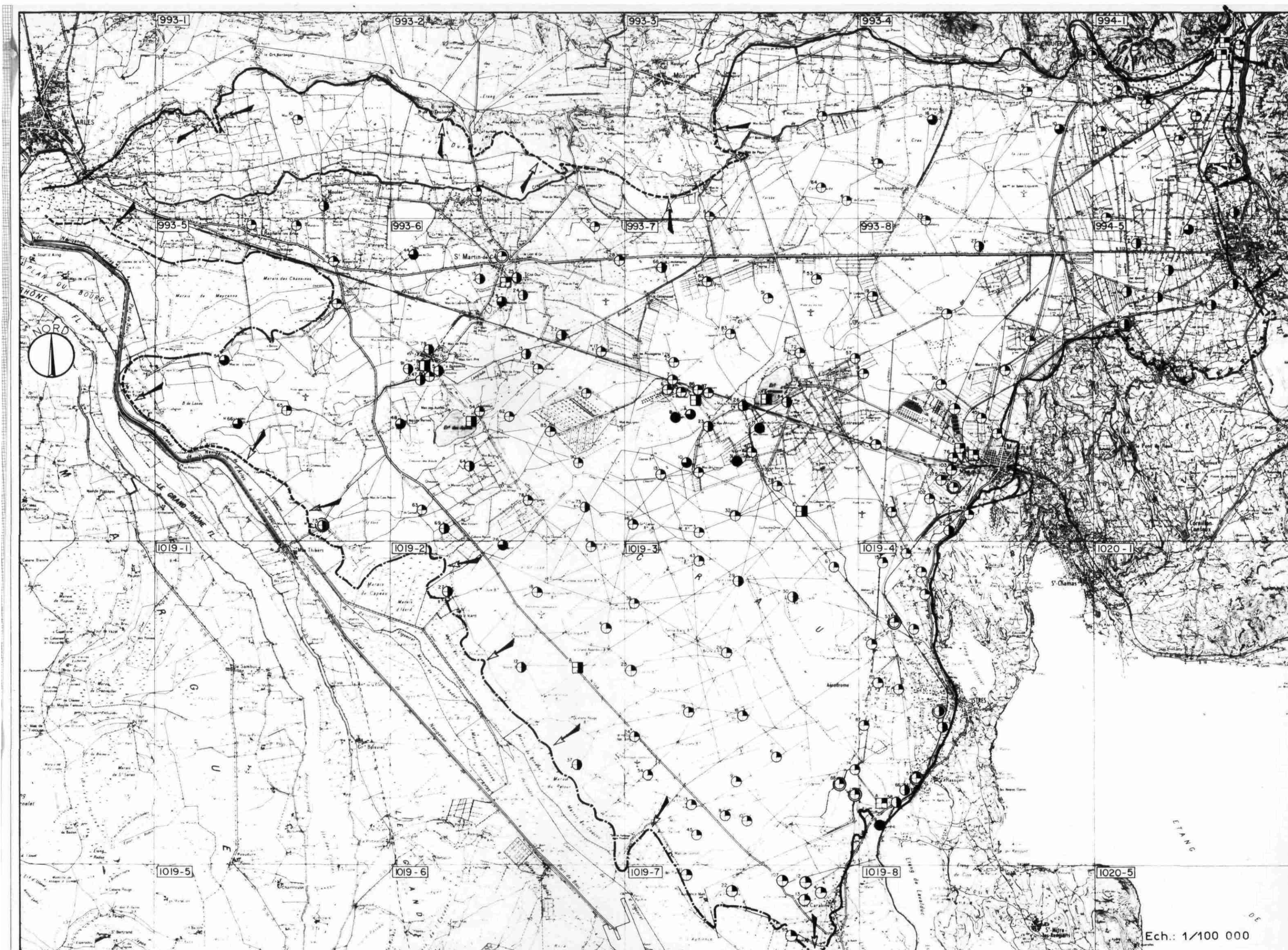


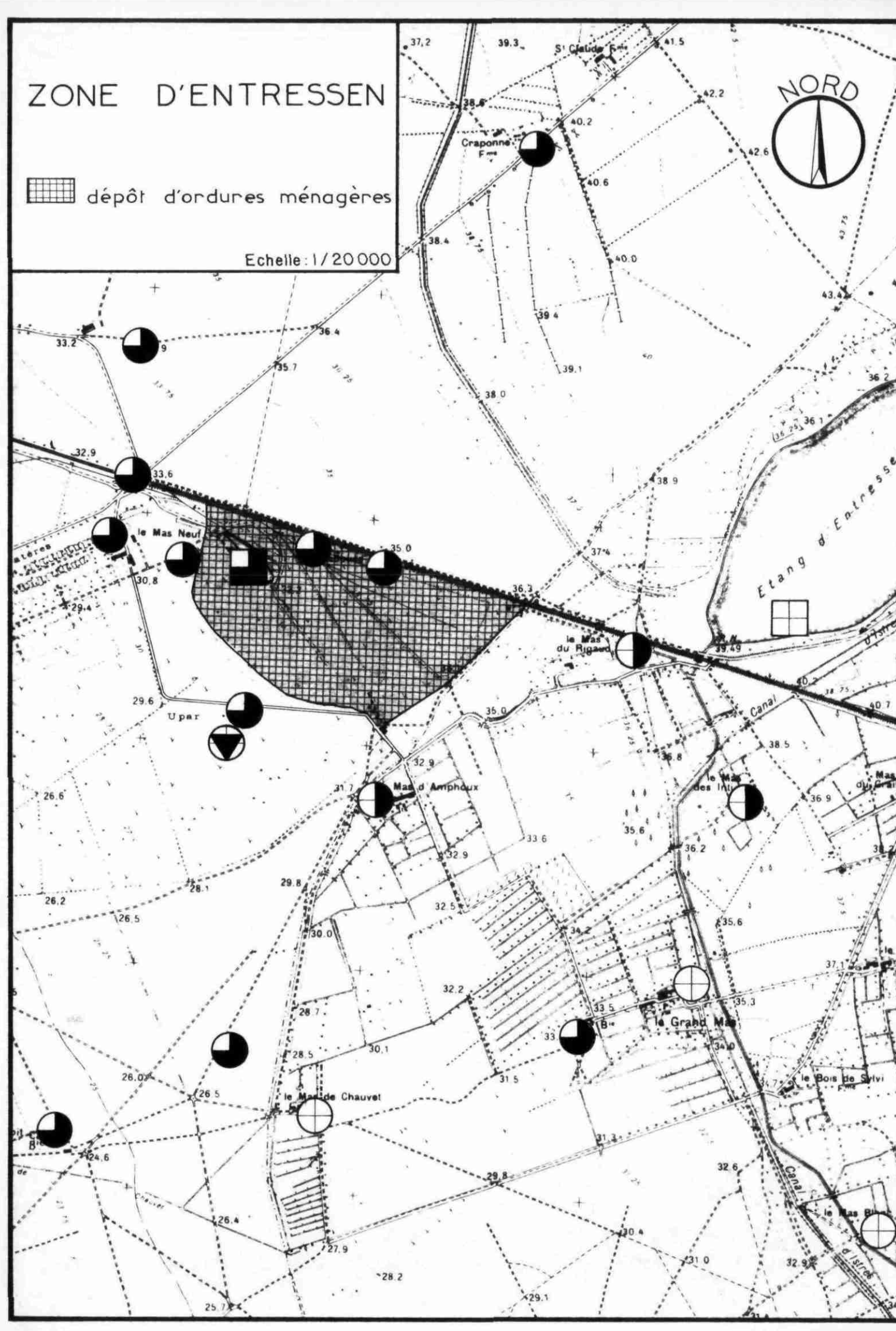
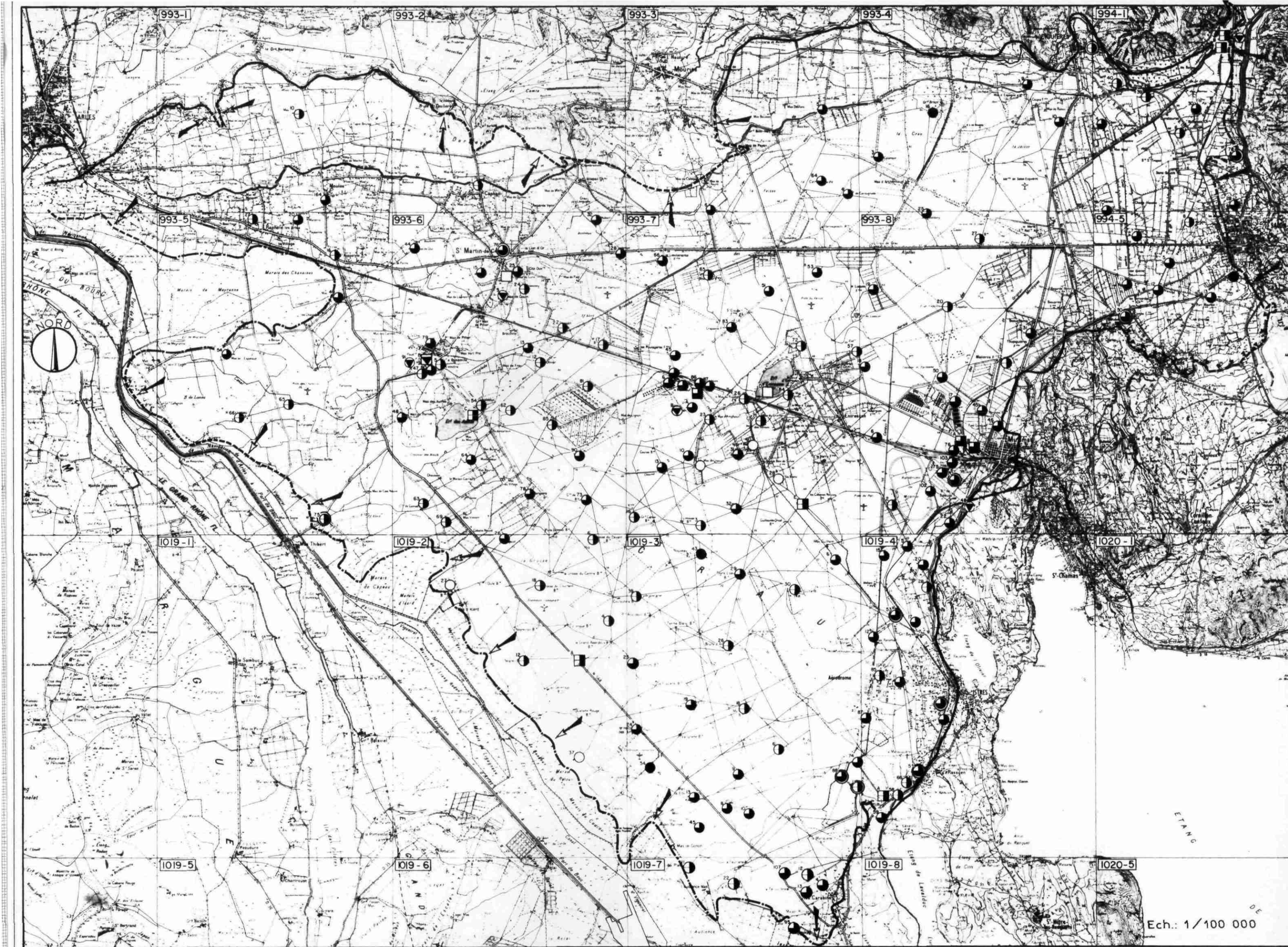












CARTE N° 11

TENEURS EN AZOTE MINERAL
(mg/l)

○

≤ au seuil de détermination

●

> 5 et ≤ 10

◐

≤ 1

◑

> 1 et ≤ 5

◒

> 10

(Précision d'analyse ± 5%)

Réglementation Française:
Teneur maximale admissible : 10 mg/l

Limites de la nappe

—

Limites étanches

—

Limites non étanches : drainantes

—

Limites non étanches : alimentantes

—

Limites non étanches : marais

—

Limites non étanches : cours d'eau

⊕

Captage d'alimentation en eau potable

⊞

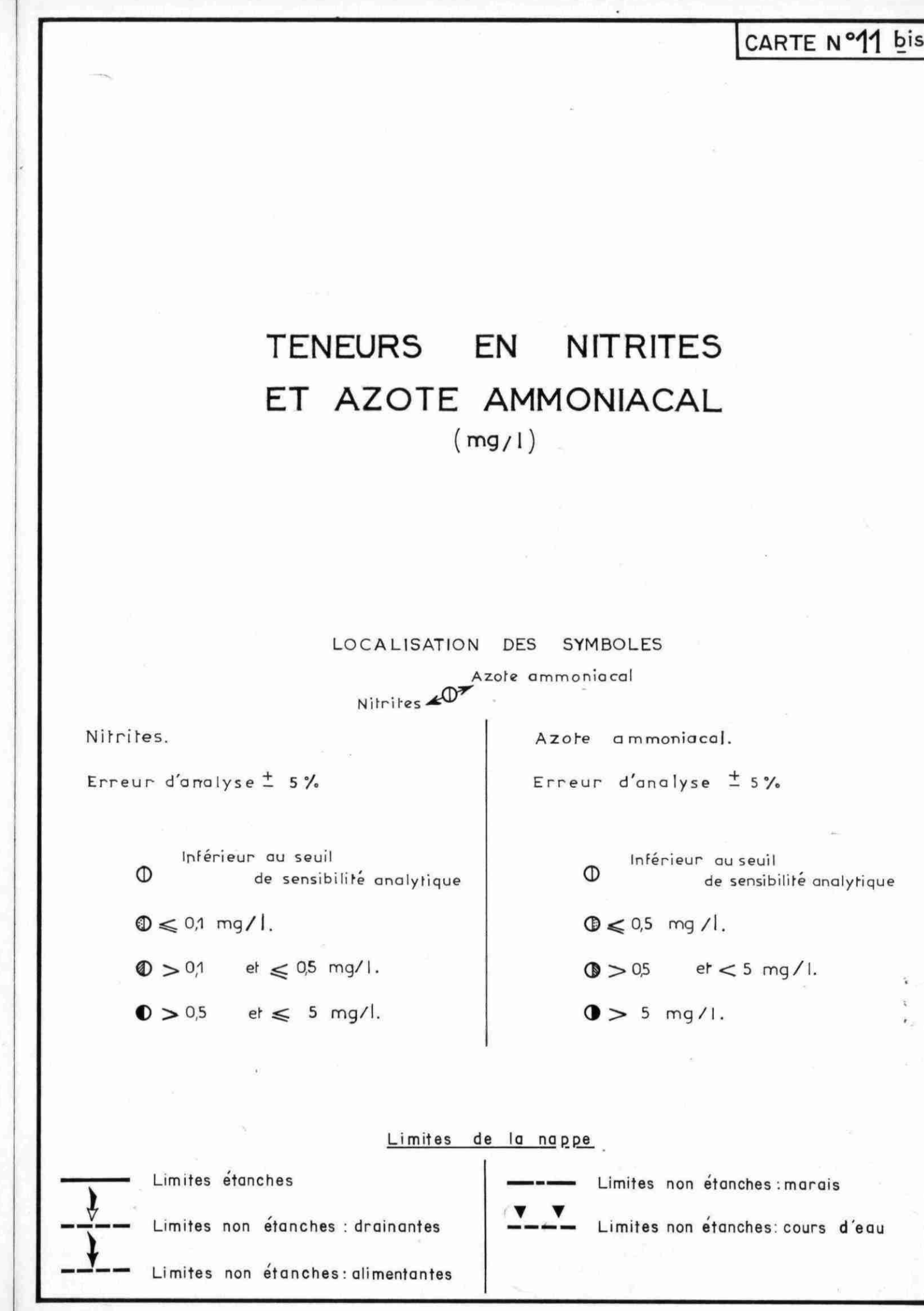
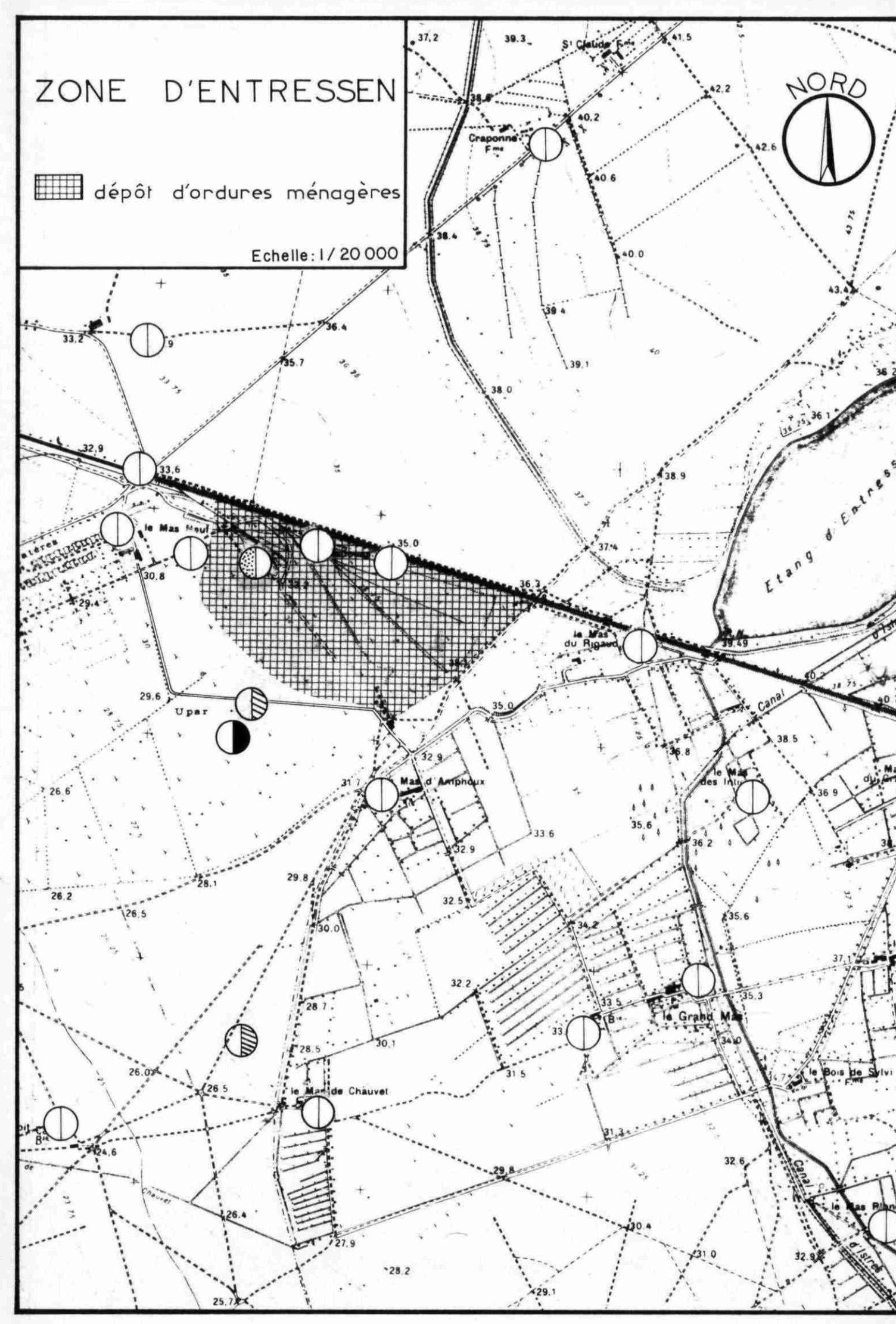
Prélèvement d'eau superficielle (voir tableau ci-dessous)

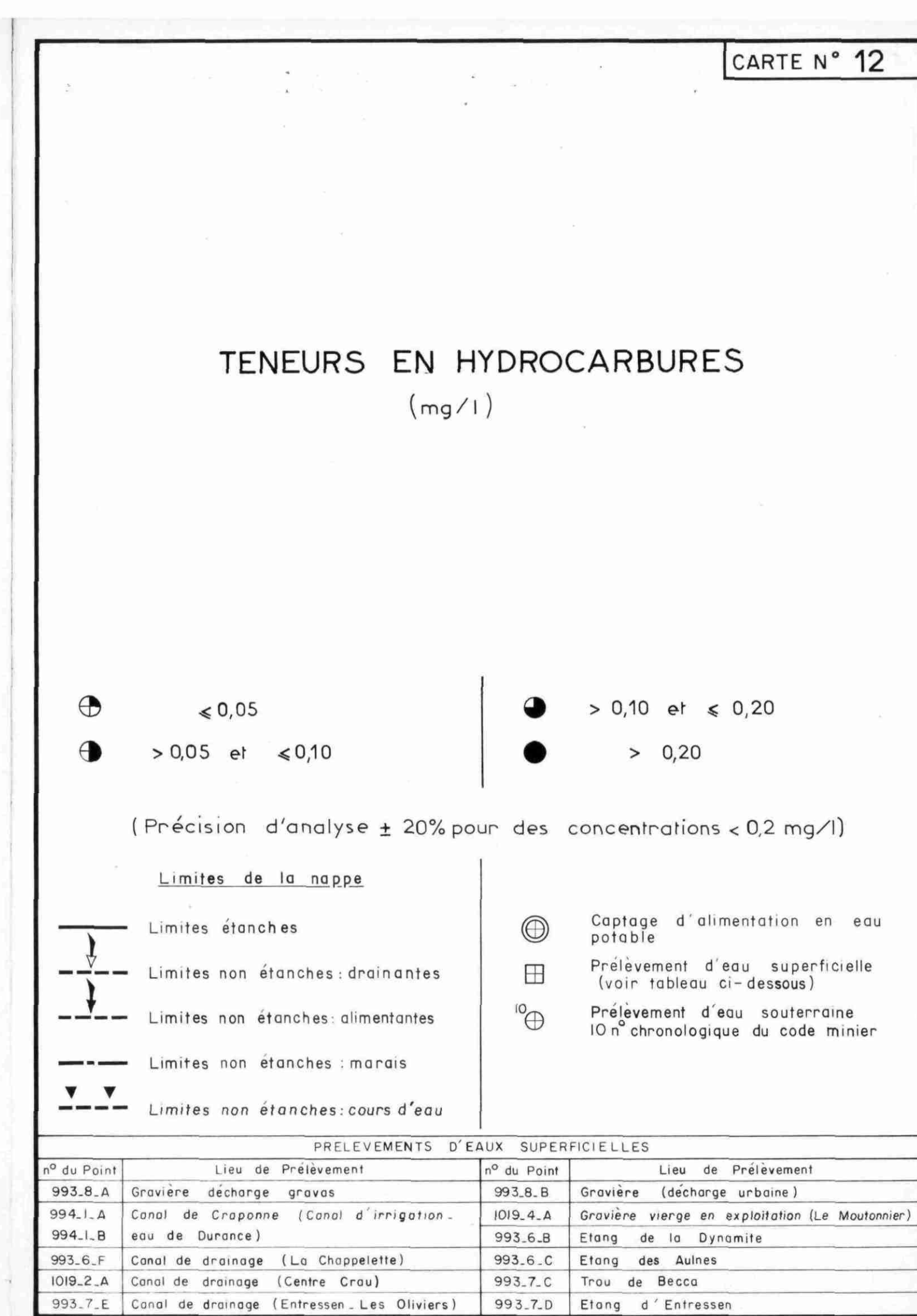
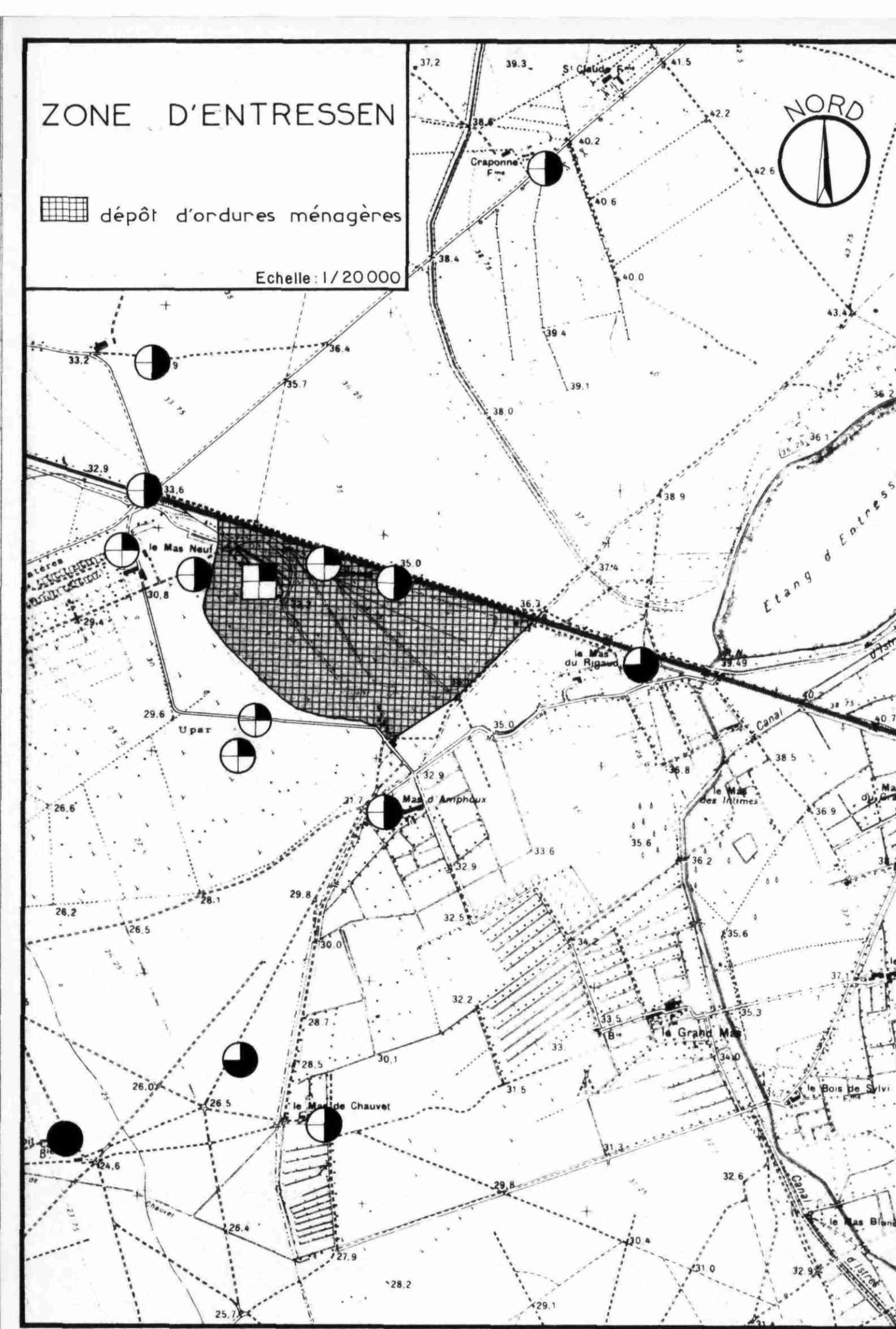
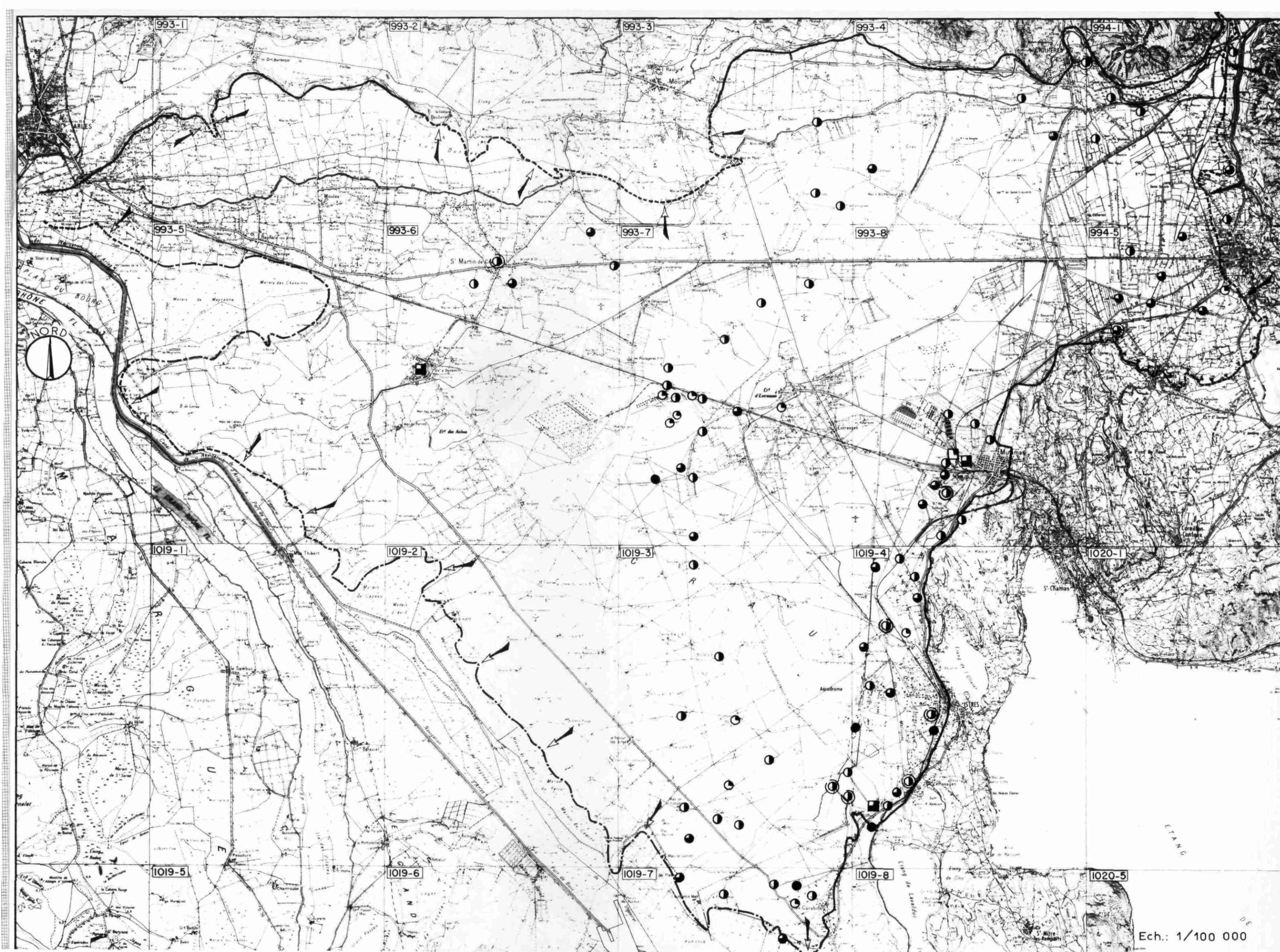
⊙

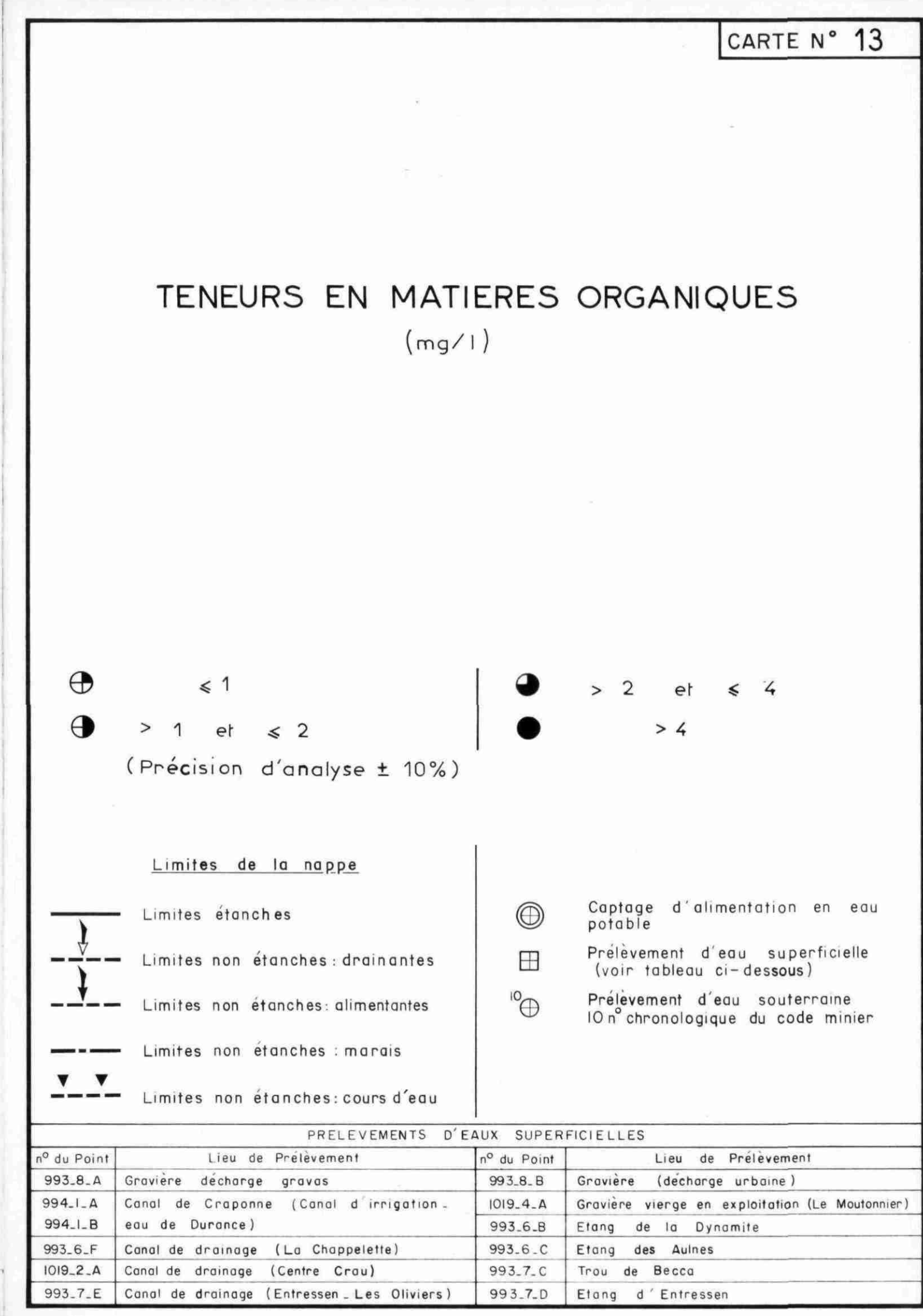
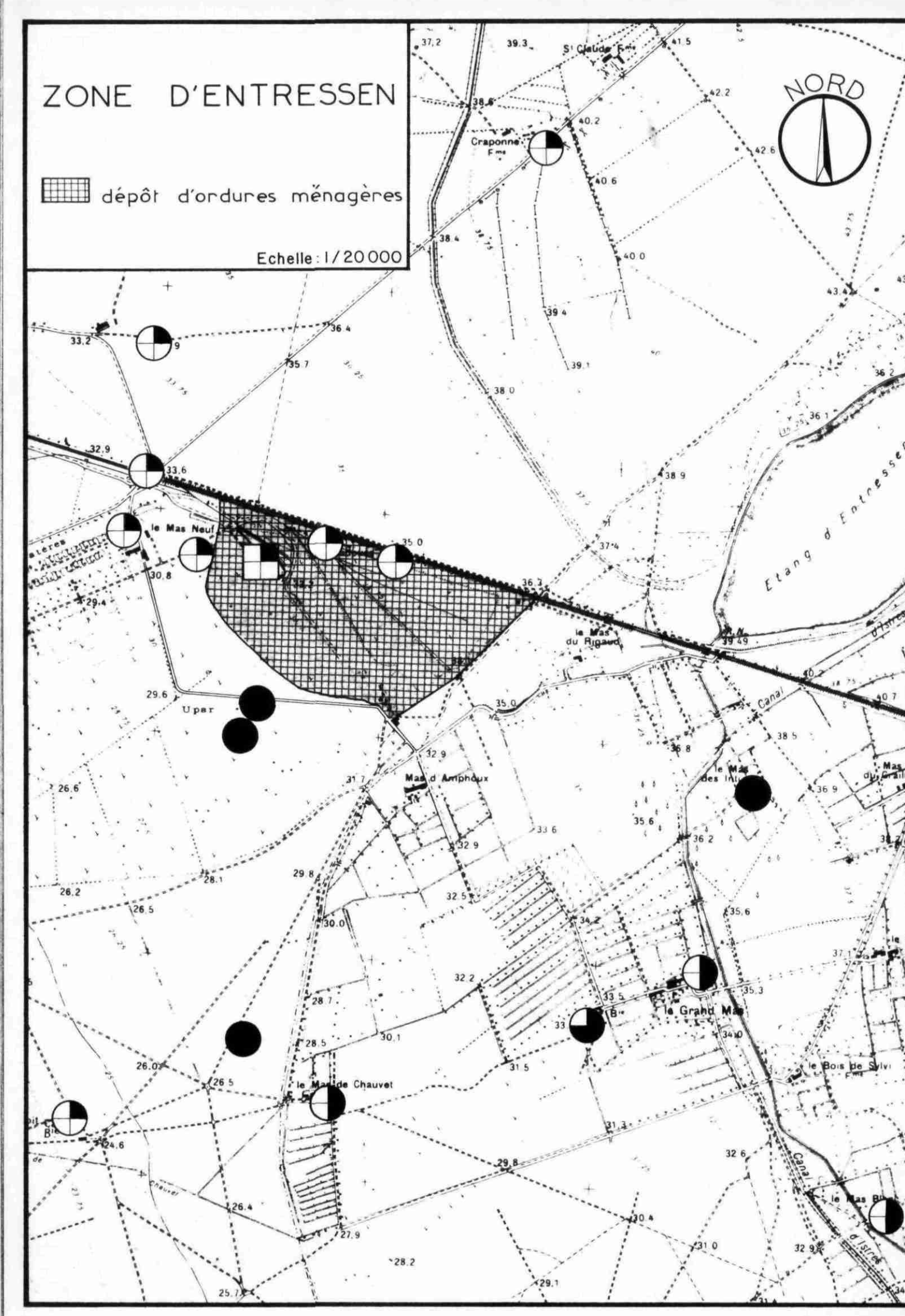
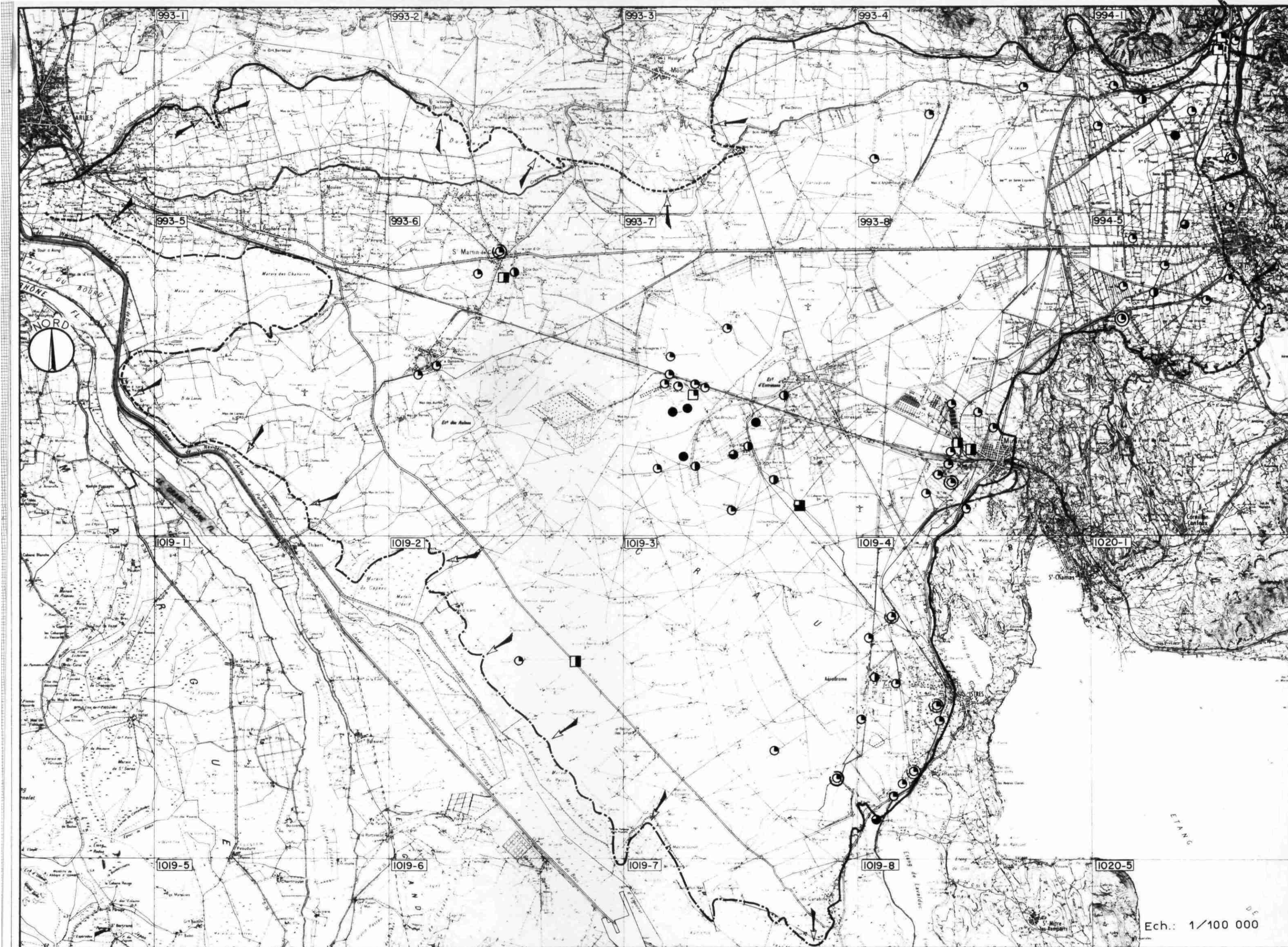
Prélèvement d'eau souterraine 10^{n°} chronologique du code minier

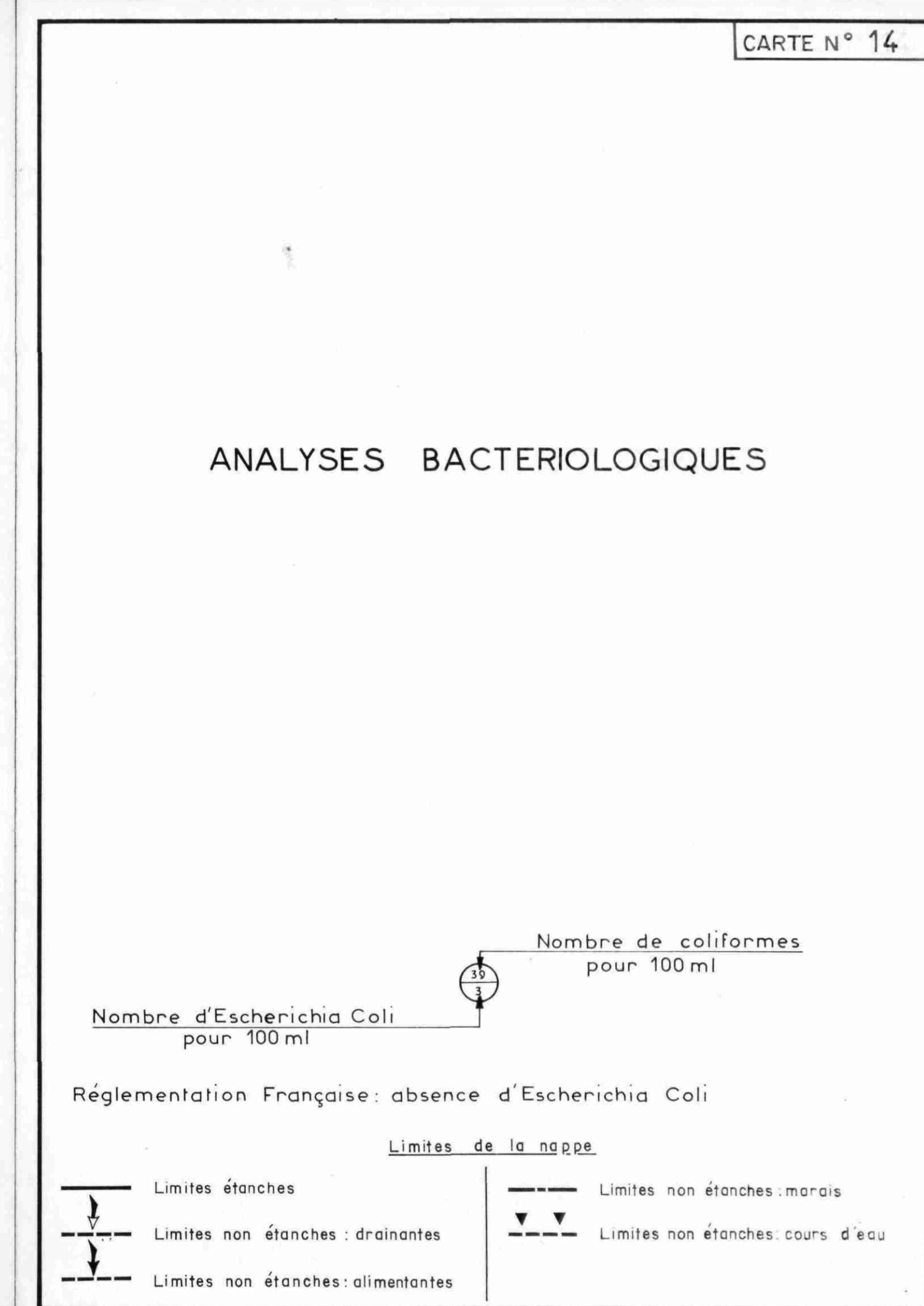
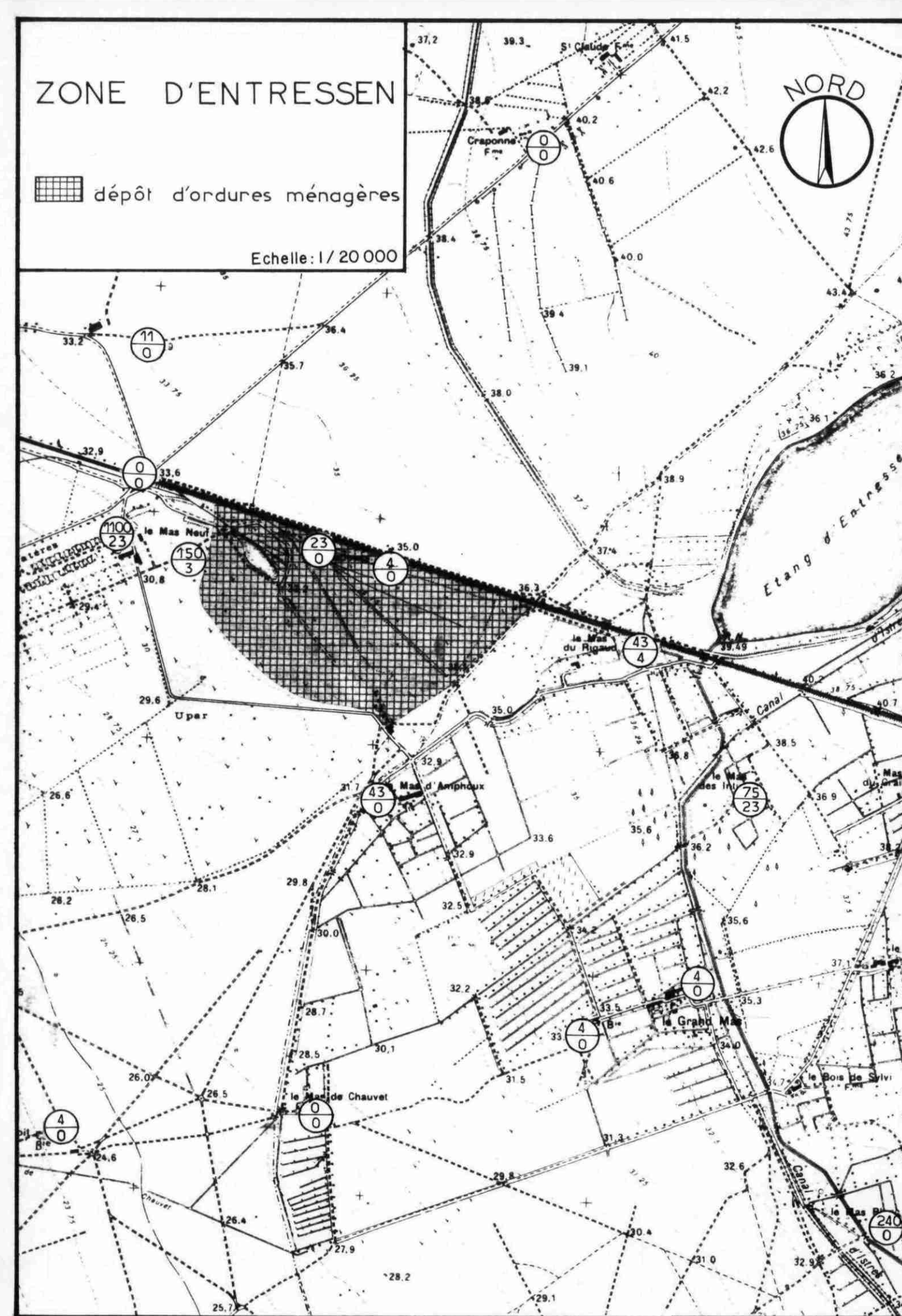
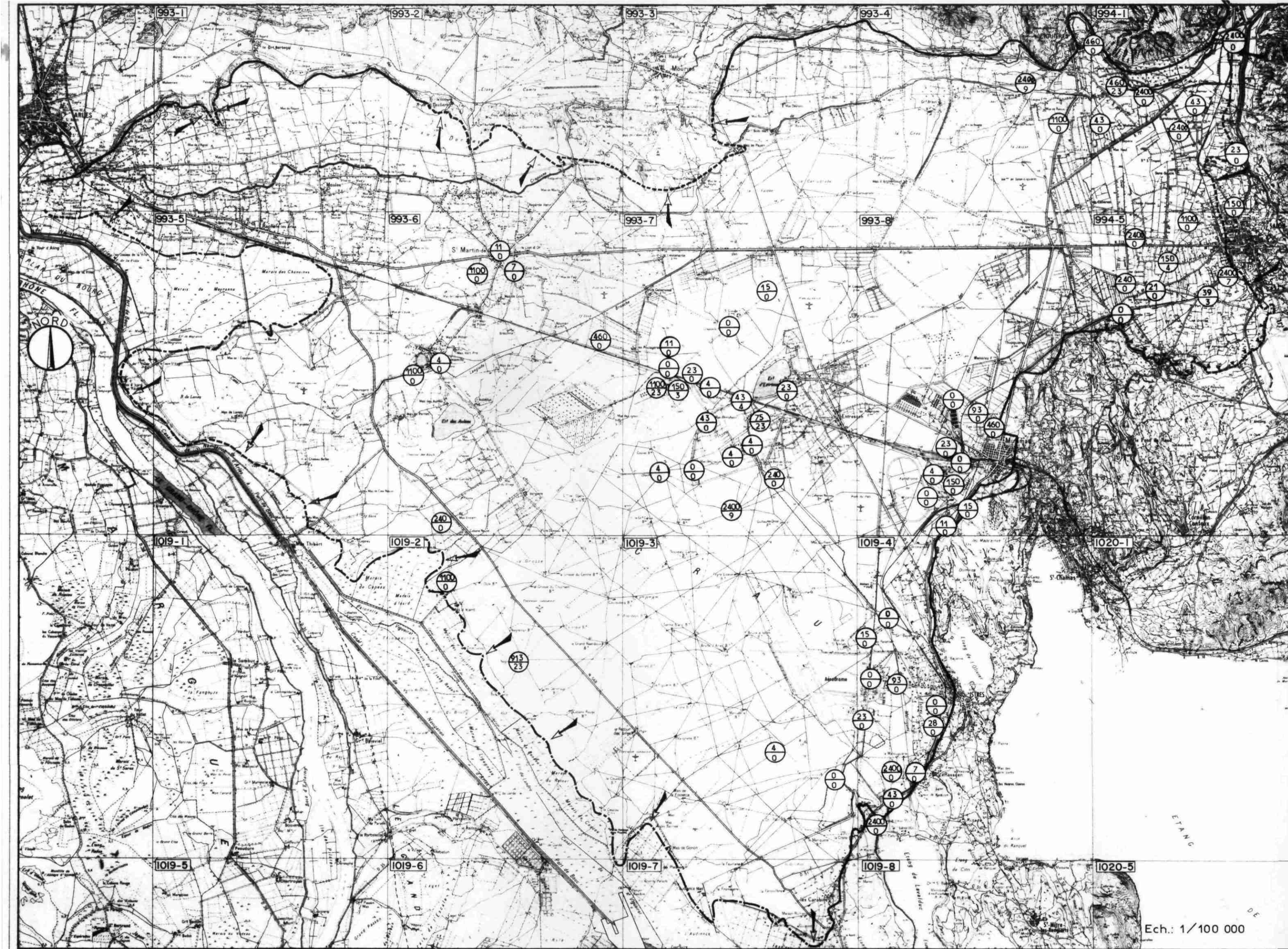
PRELEVEMENTS D'EAUX SUPERFICIELLES

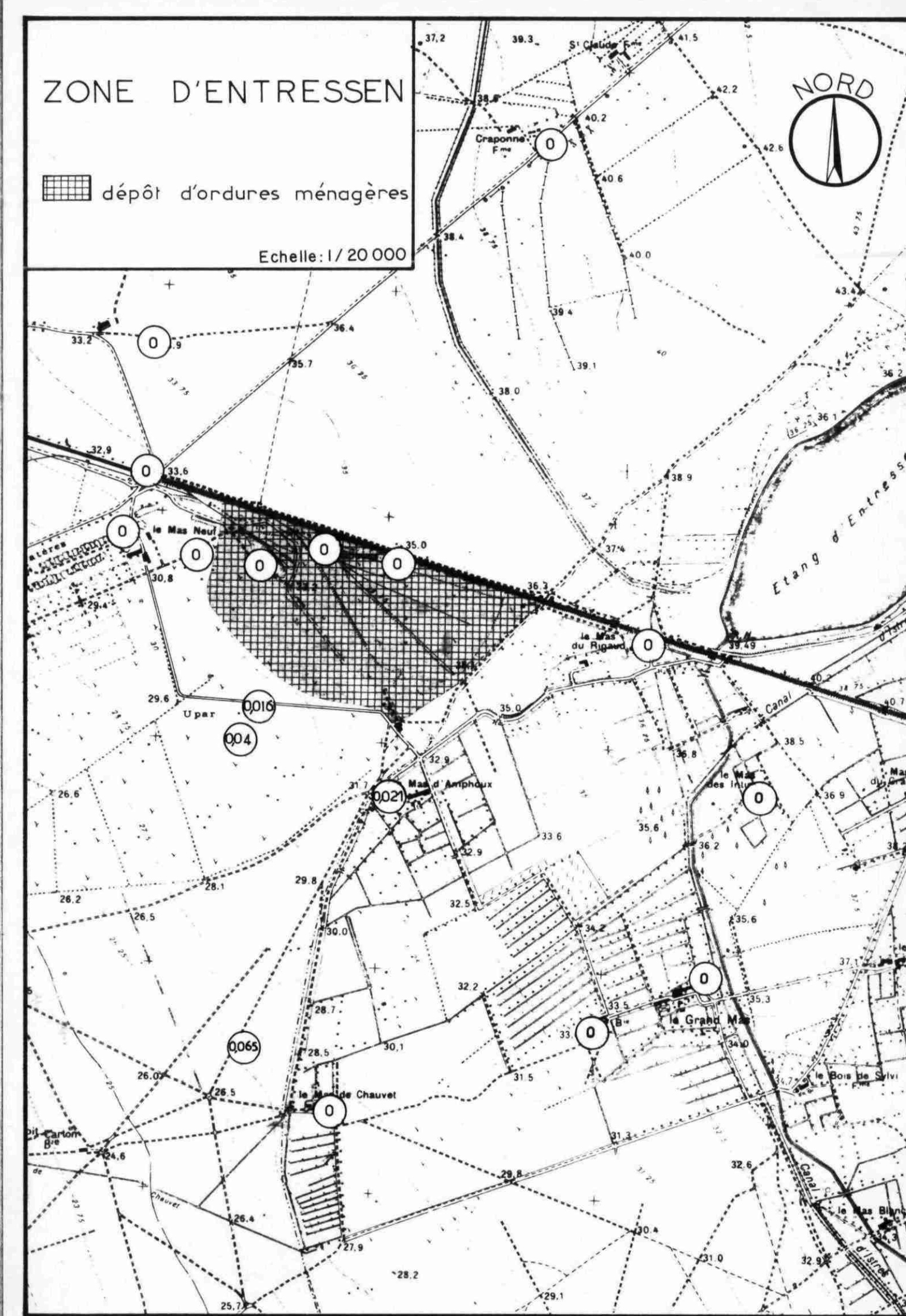
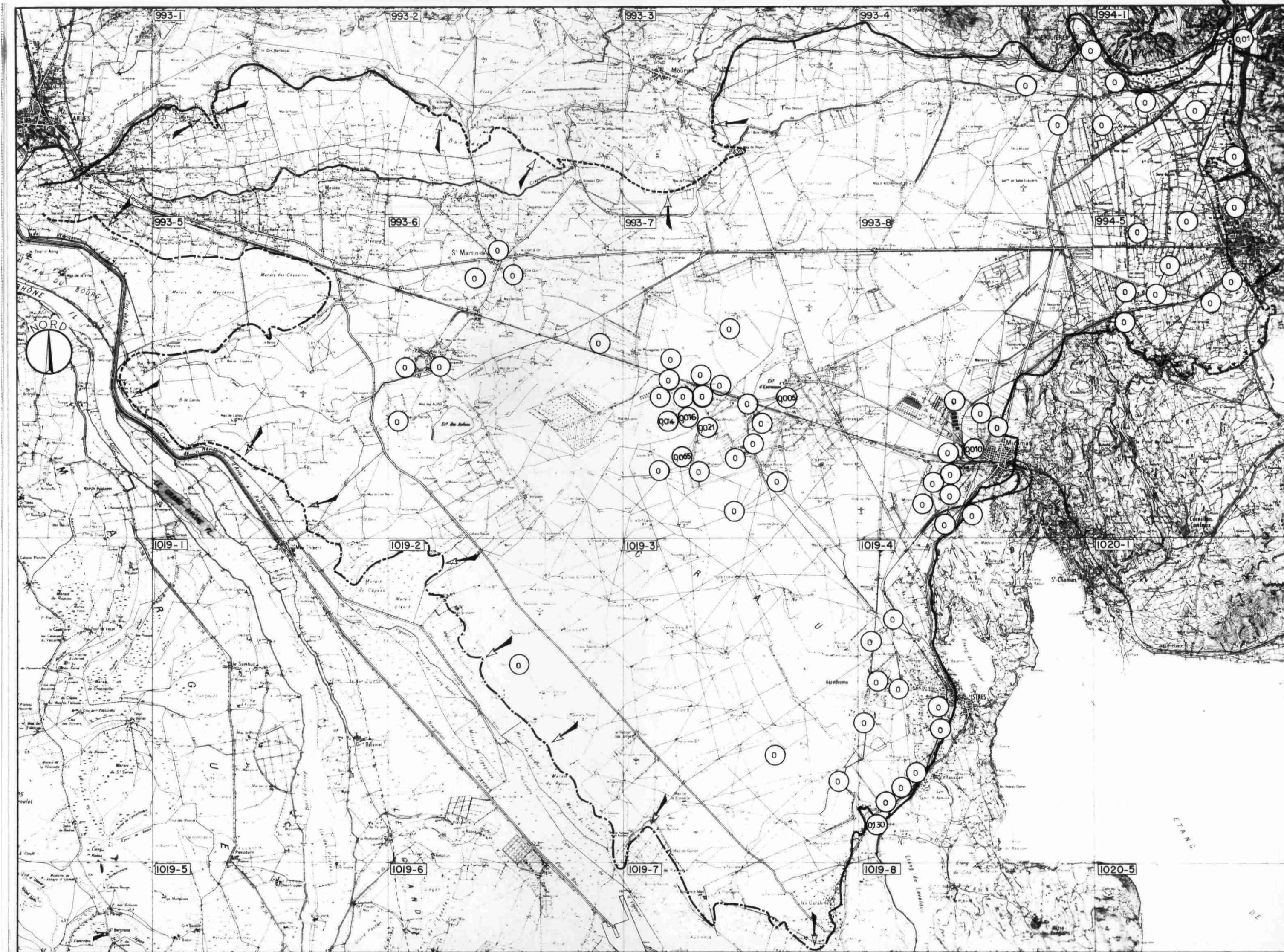
n° du Point	Lieu de Prélèvement	n° du Point	Lieu de Prélèvement
993.8.A	Gravière : décharge gravas	993.8.B	Gravière : (décharge urbaine)
994.1.A	Canal de Craonne (Canal d'irrigation - eau de Durance)	1019.4.A	Gravière vierge en exploitation (Le Moutonnier)
994.1.B		993.6.B	Etang de la Dynamite
993.6.F	Canal de drainage (La Chappelette)	993.6.C	Etang des Aulnes
1019.2.A	Canal de drainage (Centre Crau)	993.7.C	Trou de Becca
993.7.E	Canal de drainage (Entressen - Les Oliviers)	993.7.D	Etang d'Entressen












TENEURS EN DETERGENTS

001 Teneurs exprimées en mg/l
(O: Teneur inférieure au seuil de sensibilité analytique)

Précision d'analyse :
 $\pm 10\%$ pour des concentrations inférieures
à 0,10 mg/l

Limites de la nappe

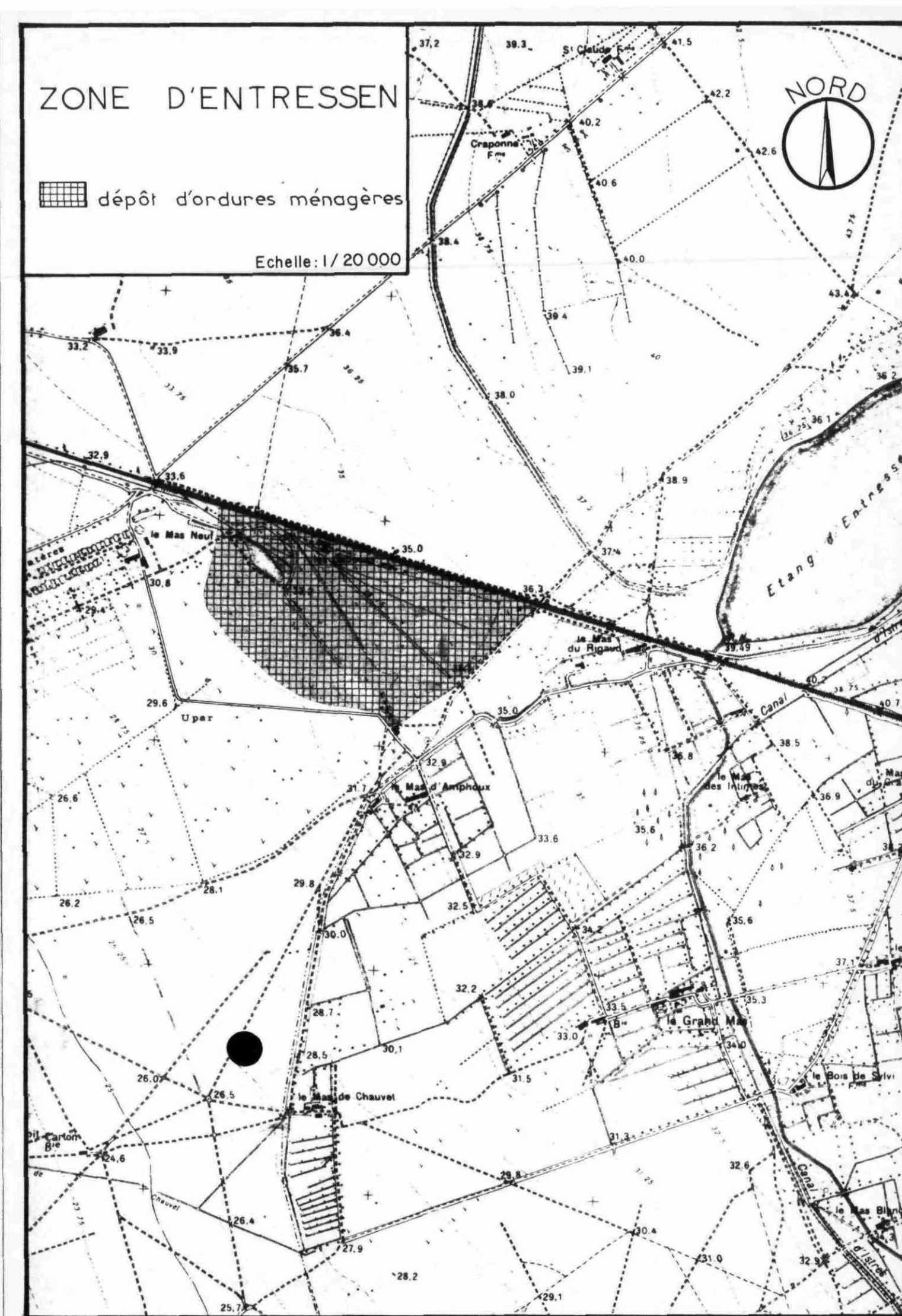
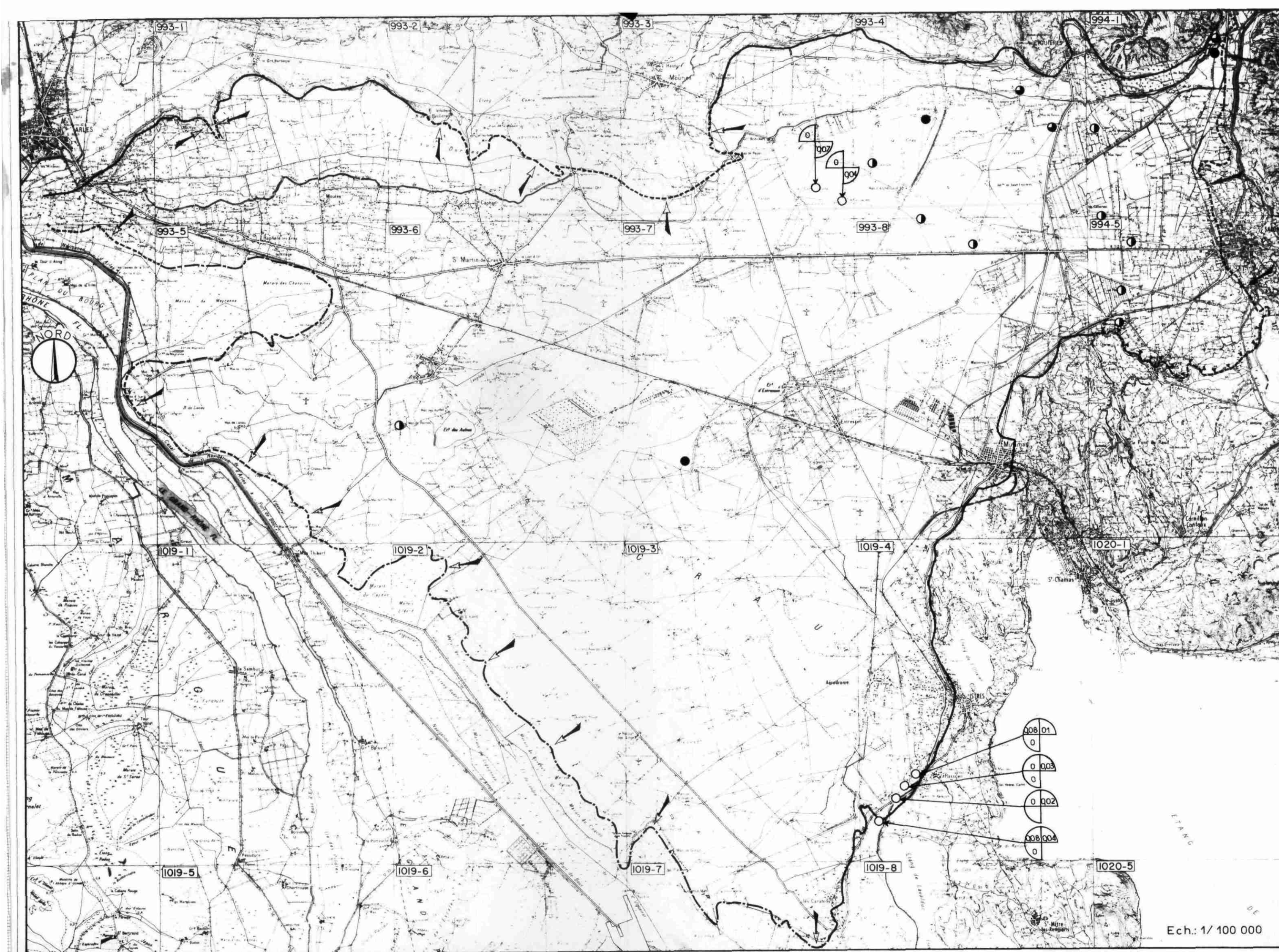
 Limites étanches

 Limites non étanches : drainantes

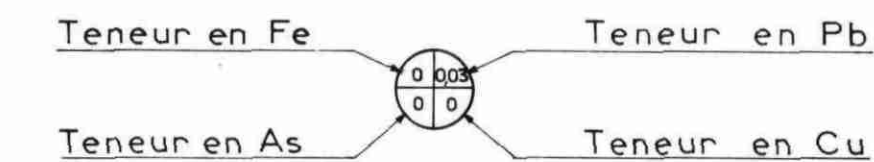
--- Limites non étanches: alimentantes

----- Limites non étanches : marais

--- Limites non étanches: cours d'eau



TENEURS EN FER_CUIVRE_PLOMB_ARSENIC (mg/l)



0 : Teneur inférieure au seuil de sensibilité analytique
Précision d'analyse

Fer : ± 4 %
Cuivre : ± 15% pour des concentrations inférieures à 0,10 mg/l
Plomb : ± 15% pour des concentrations inférieures à 0,10 mg/l
Arsenic : ± 10% pour des concentrations inférieures à 0,01 mg/l

Concentrations limites

Fe	0,2 mg/l	Pb	0,1 mg/l
Cu	1 mg/l	As	0,05 mg/l

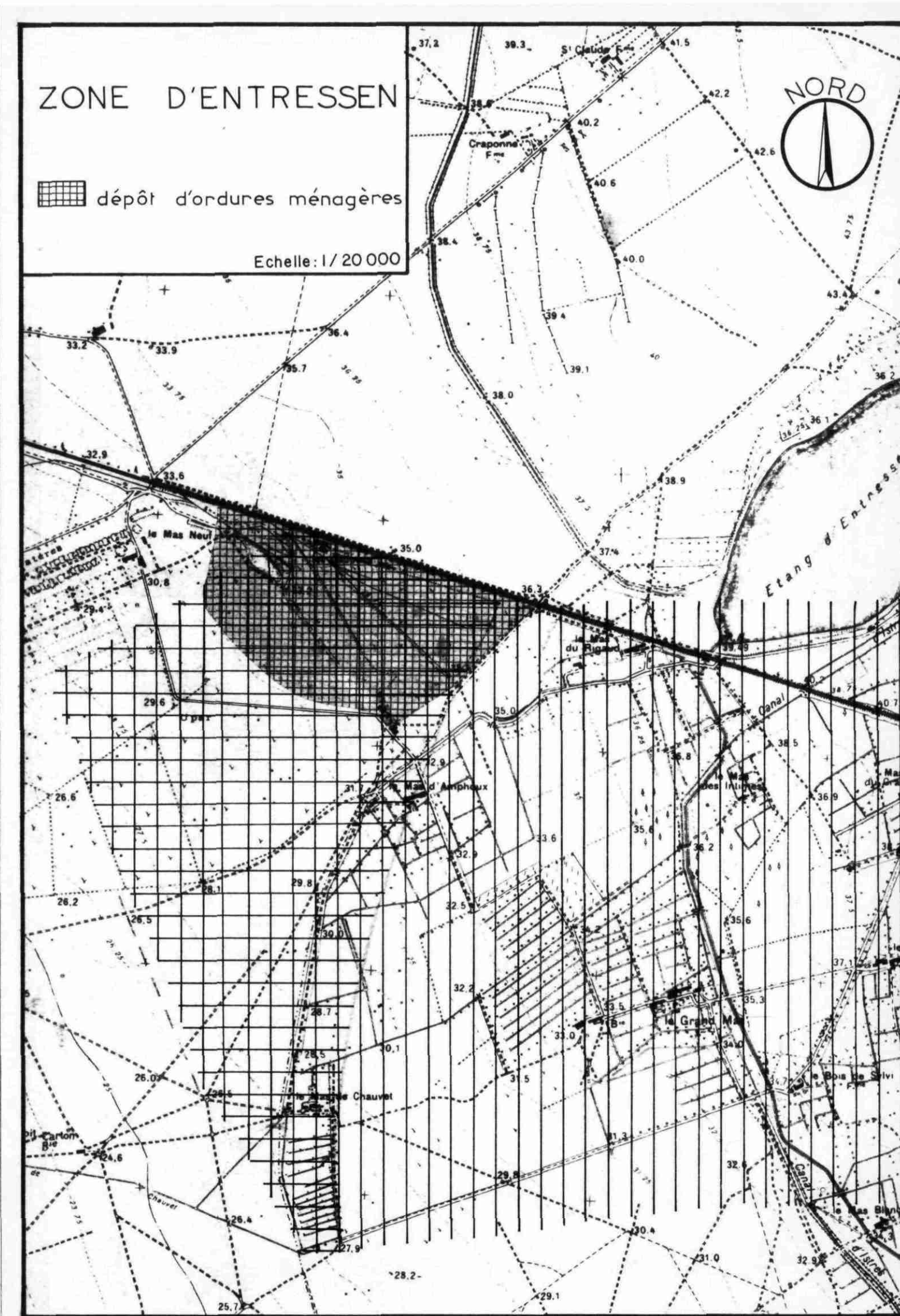
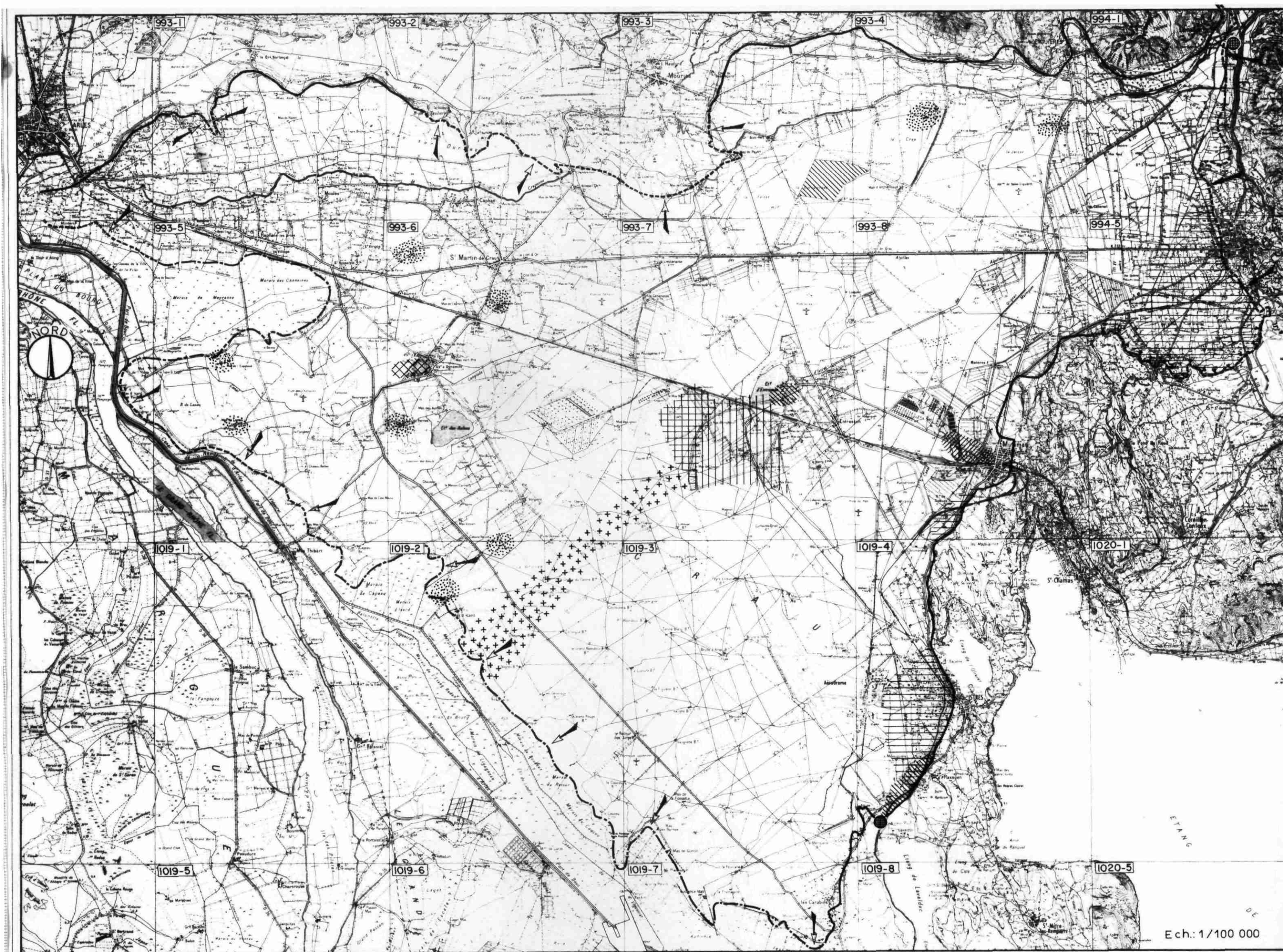
TENEURS EN ORGANOCHLORES (µg/l)



Précision d'analyse :
± 10% pour des concentrations inférieures à 0,5 µg/l

Limites de la nappe





CARTE DES POLLUTIONS

Pollution domestique

- Certaine et nette
- Prépondérante
- Diluée
- Influence physico-géologique de la bordure du Miocene
- Pollution domestique et industrielle

Pollution industrielle

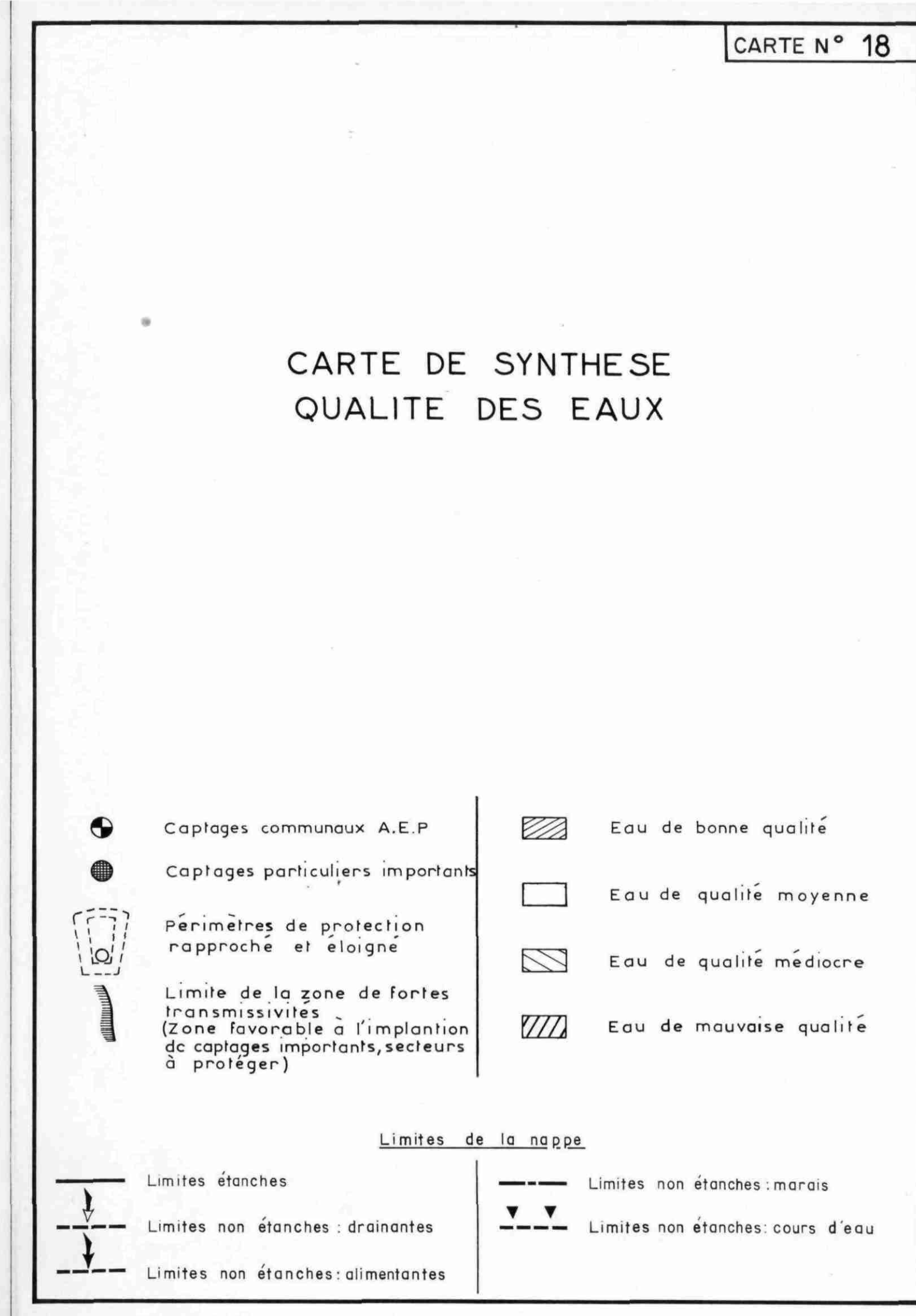
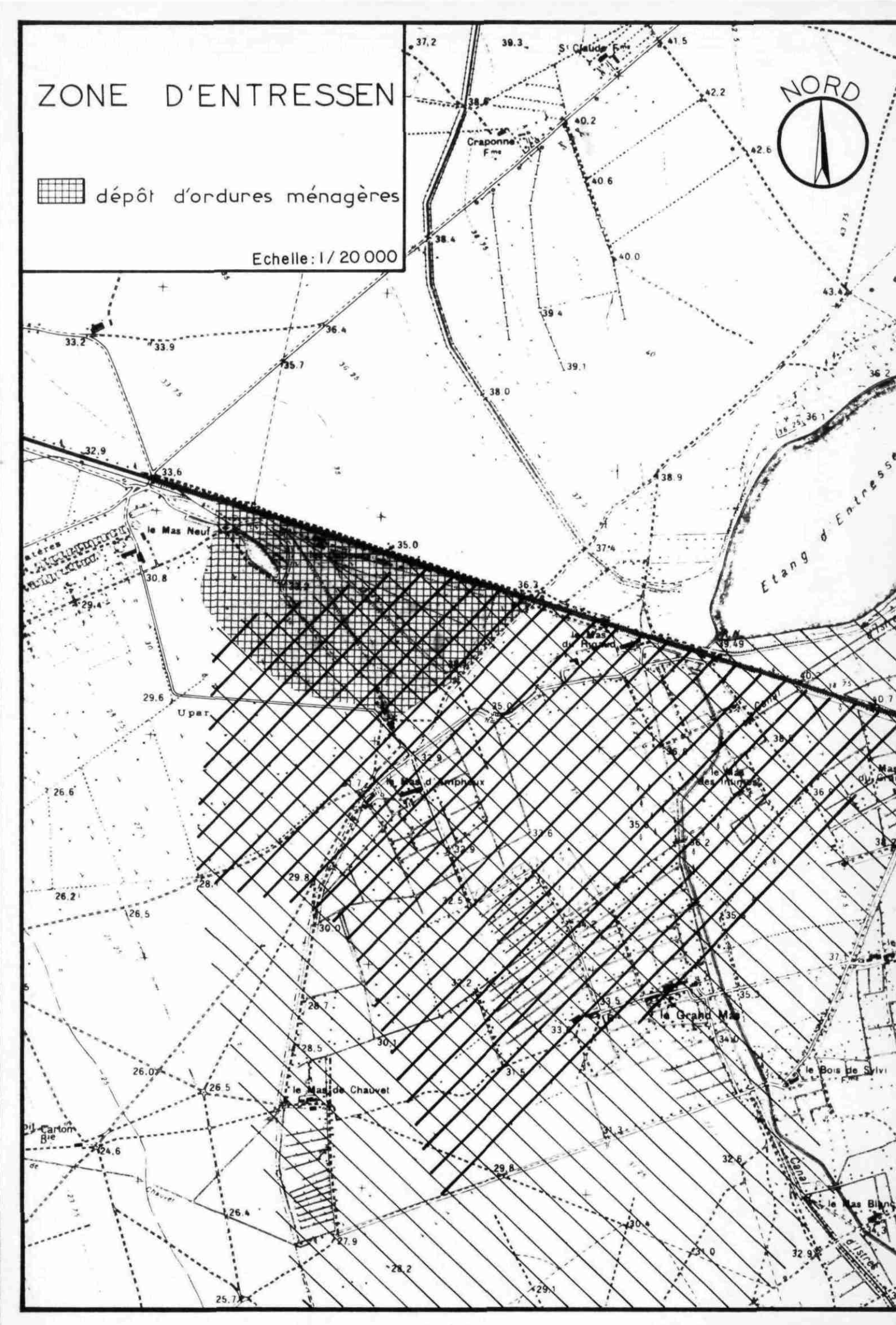
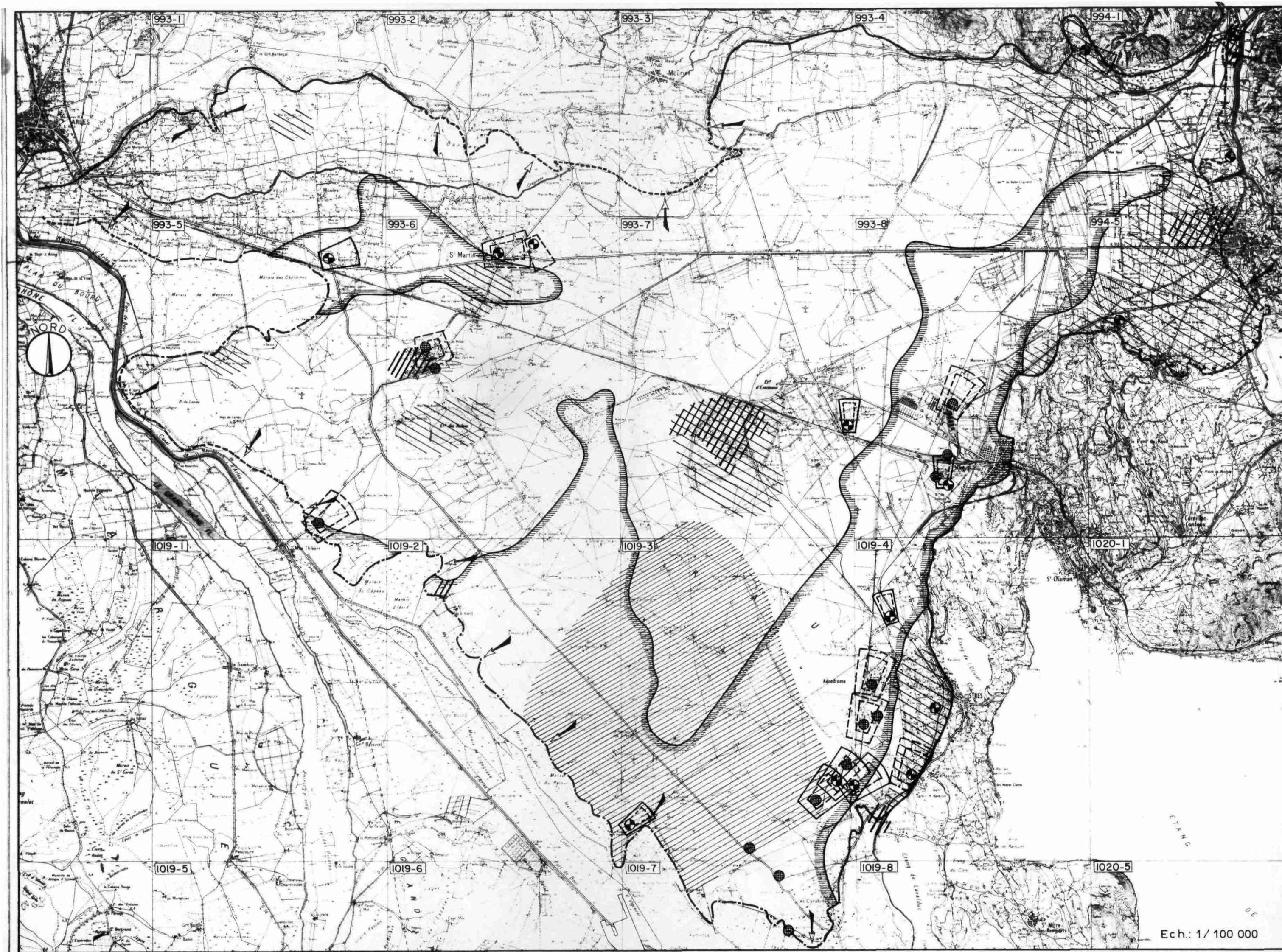
- Forte
- Constatée
- Pollution d'origine agricole
- Pollution ponctuelle indéfinie

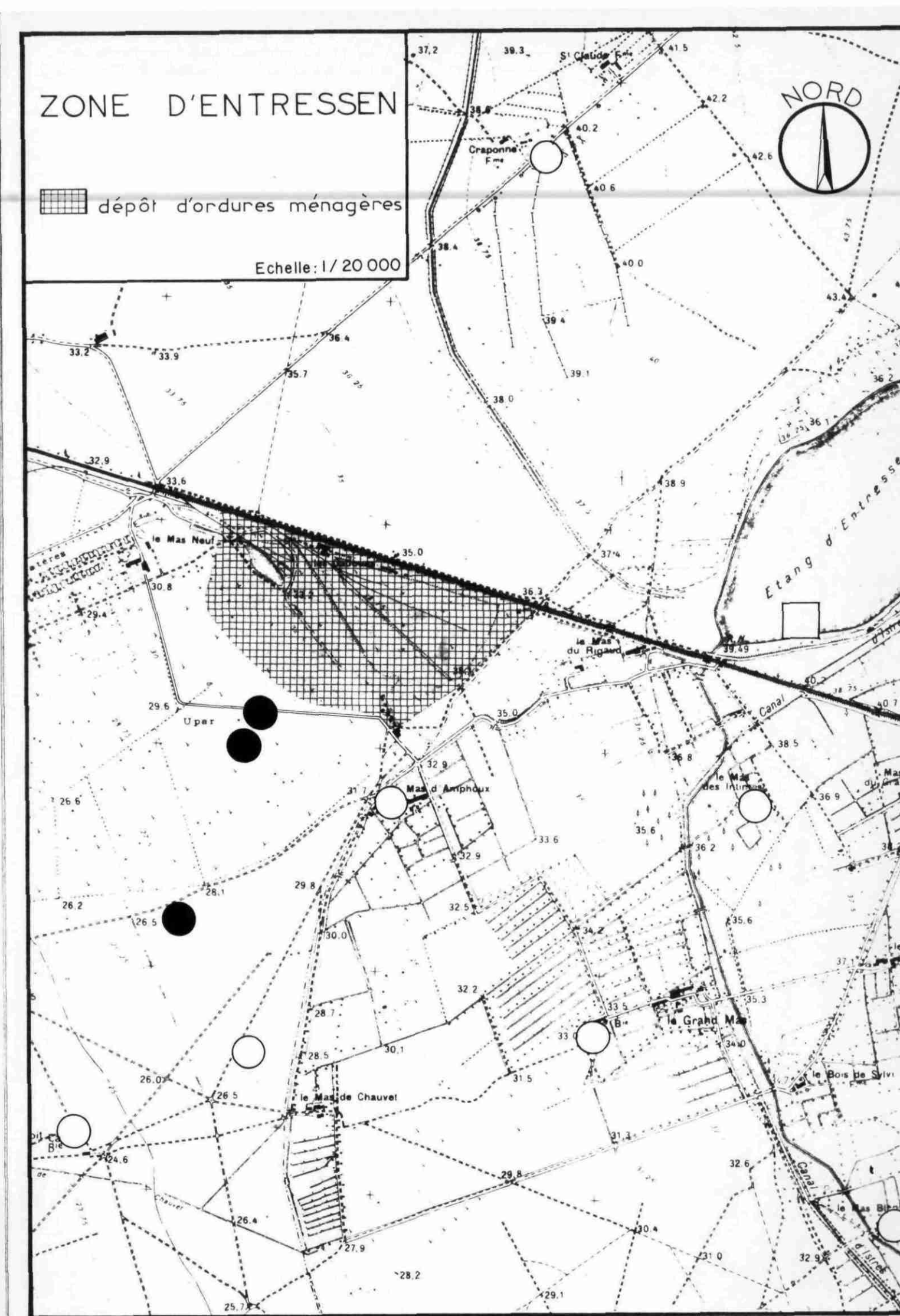
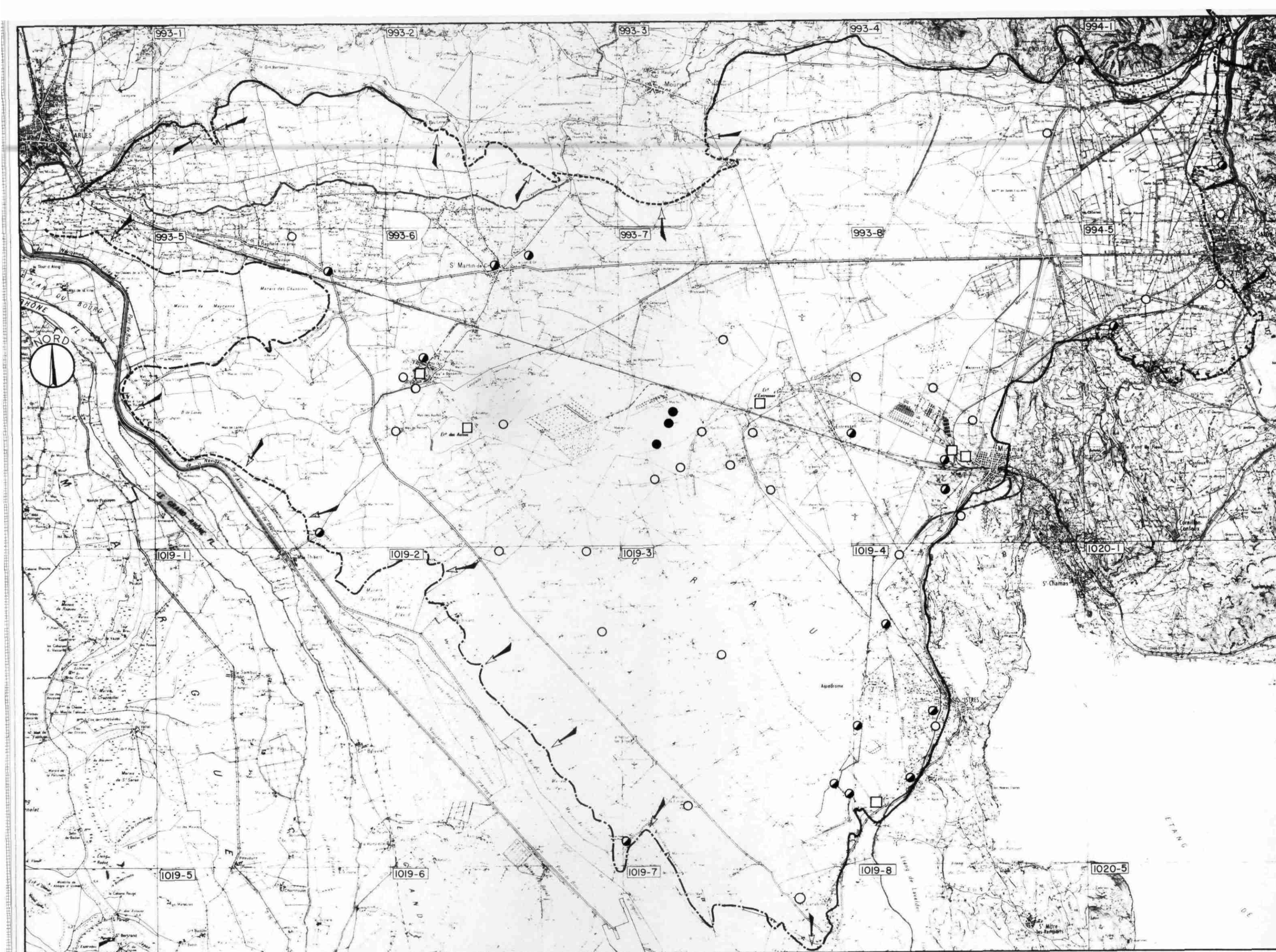
N.B: La pollution par les nitrates étant fortement dispersée n'a pas été figurée

La présence des hydrocarbures a été décelée sur tous les points où ils ont été dosés mais à des taux peu élevés. L'hétérogénéité des valeurs n'a pas permis une interprétation d'ensemble on note cependant une légère augmentation à l'aval hydraulique des agglomérations

Limites de la nappe

- Limites étanches
- Limites non étanches: drainantes
- Limites non étanches: alimentantes
- Limites non étanches: marais
- Limites non étanches: cours d'eau





RESEAU DE SURVEILLANCE

- Captage A.E.P.
- Puits
- Piézomètre
- Eau superficielle

N.B. Les positions des puits n'ont qu'une valeur indicative. Le réseau est susceptible, dans les années à venir, d'être modifié en fonction des aménagements et de l'évolution de la qualité des eaux.

Limites de la nappe

- Limites étanches
- Limites non étanches: drainantes
- Limites non étanches: alimentantes
- Limites non étanches: marais
- Limites non étanches: cours d'eau