

LA NAPPE PHRÉATIQUE DE LA VALLÉE FLAMANDE

G. DE MOOR, W. DE BREUCK et R. MARÉCHAL

(Centrum voor Hydrogeologisch Onderzoek, Gent)

ABSTRACT. A systematic hydrogeologic study has been undertaken in the so-called Flemish Valley, a buried system of channels in Tertiary sediments filled with Quaternary sandy and loamy material. About 500 geo-electric soundings have been performed in a 400 km² area north of Ghent. The results of the geo-electric survey have been controlled by 40 borings. Most of the drill holes have provided the 89 water samples, the analyses of which form the first approach to the understanding of the hydro-chemistry of the aquifer.

Four hydrogeological zones have been distinguished. A first zone is characterized by the presence of brackish water in the subsoil. The difference between the three other zones is mainly based upon the difference in the lithostratigraphy of the Tertiary substratum.

The chemical water analyses have led to the distinction of nine water groups. Their chemical relationship and their geographical and vertical distribution provide an insight into their origin and their evolution.

1. Introduction

La Vallée Flamande est formée par un vaste système de chenaux, creusés dans les couches sableuses et argileuses d'âge tertiaire et colmatés par des sédiments quaternaires sableux et/ou limoneux. Ces dépôts quaternaires peuvent atteindre une épaisseur de plus de 30 mètres et forment un réservoir phréatique continu. Quand ils reposent sur un substrat tertiaire également sableux, le réservoir phréatique atteint parfois une épaisseur de plus de 50 mètres.

La partie septentrionale de cette région a fait l'objet d'une étude hydrogéologique systématique. A cet effet environ 500 sondages de résistivité ont été exécutés dans une zone de 400 km². Les résultats de la prospection géoélectrique ont été contrôlés par plus de 40 forages, qui dans la plupart des cas ont atteint le substrat tertiaire. Dans ces forages 89 échantillons d'eau ont été prélevés. Les analyses chimiques de ces échantillons effectuées par le laboratoire de Cebedeau à Gand ont permis

de dresser un aperçu général de l'hydrochimie de la nappe phréatique de la Vallée Flamande.

2. La prospection géoélectrique

Dans la région étudiée les conditions de terrain se présentent de manière favorable pour une prospection par sondages de résistivité. En effet il s'agit de mesurer soit l'épaisseur du sable formant le réservoir phréatique au-dessus d'une couche argileuse, soit l'épaisseur de la nappe fraîche¹ superficielle dans les zones saumâtres en profondeur.

Les sondages de résistivité ont été faits au courant continu, avec les électrodes disposées en arrangement Wenner. Les instruments et les méthodes ont été décrits à maintes reprises

¹ Le terme « fraîche » est employé ici dans le sens « non saumâtre », correspondant ainsi à l'Anglais « fresh » et au Néerlandais « zoet », afin d'éviter toute confusion avec le terme « douce », dans le sens « non dure ».

(DE BREUCK & DE MOOR, 1962; DE MOOR & DE BREUCK, 1964; TAVERNIER et al., 1967).

rompue par des bouchons d'argile afin d'éviter tout mélange d'eaux provenant de niveaux différents.

3. Les forages

Les forages ont été effectués à sec avec un diamètre de 128 mm. Ils atteignent une profondeur de 7 à 35 m. Les premiers puits ont été munis d'un filtre de 100 mm de diamètre et d'un mètre de longueur. Ultérieurement on a introduit dans chaque puits deux à quatre tubes en PVC de 32 mm de diamètre, chacun pourvu à un niveau différent d'un filtre de un à deux mètres de long. Chaque filtre est entouré d'une gaine de gravier, inter-

4. Les échantillons d'eau

Le débit de pompage n'a jamais excédé 2 m³/h avec un rabattement maximum de 3 m. Pendant la prise d'eau dans un des tubes le niveau dans les autres tubes du même puits est resté stationnaire. Ceci laisse supposer qu'aucun mélange ne s'est produit pendant l'échantillonnage.

L'analyse chimique comporte les déterminations suivantes: résidu sec, résidu calciné, dureté (carbonatée et non carbonatée), alcali-

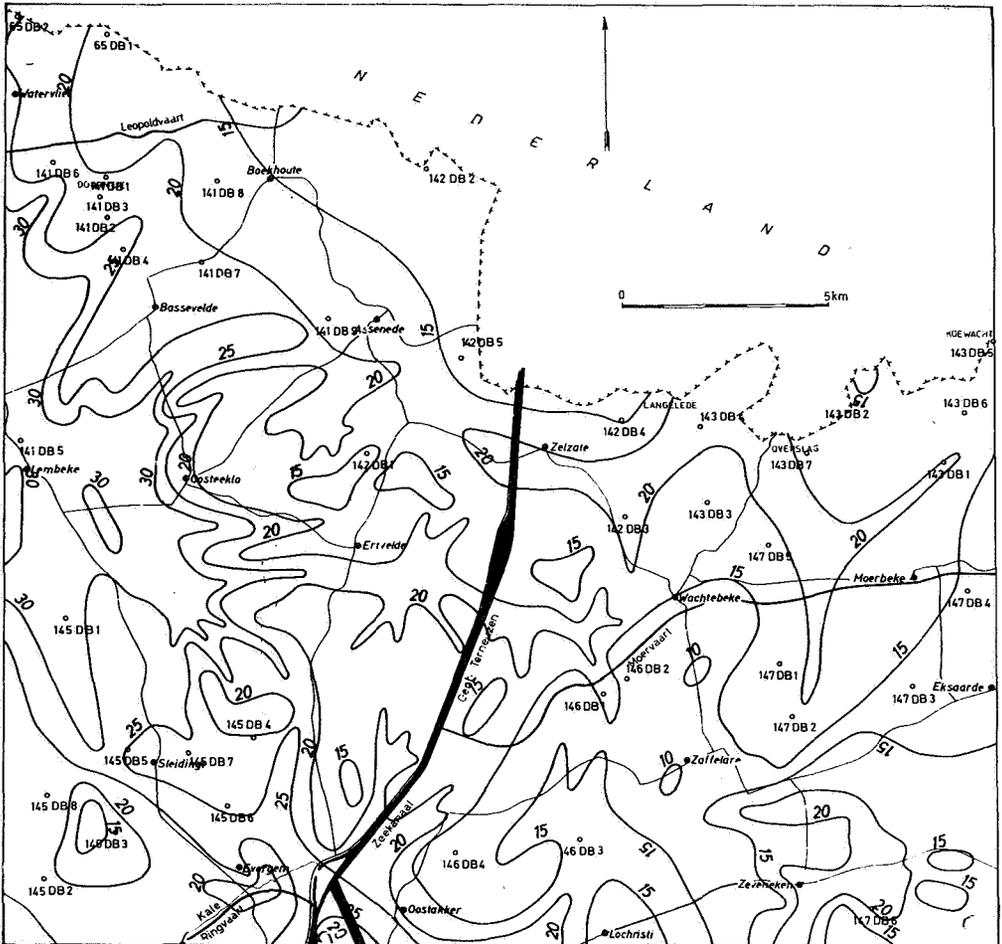


Fig. 1. Isopaques du Quaternaire. 146DB1: emplacement de forage.



Fig. 3. Zones hydrogéologiques homogènes.

1. Isobathes de la surface de contact géoélectrique
2. Limites des zones hydrogéologiques homogènes
3. Limite méridionale du sable d'Assche (Asd).

coup de cas ce doute peut être éliminé par une connaissance suffisante des conditions de terrain. Parfois celle-ci doit être complétée par des forages.

Le résultat de l'interprétation des données géoélectriques a été représenté sous forme de trois cartes. La première carte indique l'épaisseur du Quaternaire (fig. 1), la deuxième la lithostratigraphie des couches tertiaires (fig. 2), la troisième les zones hydrogéologiques homogènes (fig. 3).

Dans la Vallée Flamande on peut distinguer

quatre de ces zones (R. MARÉCHAL et al. 1967). La zone 1 est caractérisée par la présence d'eau saumâtre à profondeur variable. Les sondages de résistivité y indiquent la profondeur du contact entre la nappe d'eau fraîche et la nappe d'eau saumâtre. Cette dernière présente généralement une résistivité inférieure à 5 ohm-m. L'épaisseur de la nappe d'eau fraîche est représentée par les isopaques dans la zone 1 de la figure 3.

Dans les trois autres zones la nappe phréatique ne contient pas d'eau saumâtre.

Leur distinction est fondée sur des différences lithostratigraphiques. Dans la zone 2 les sables quaternaires reposent sur l'argile d'Assche (Bartonien) qui présente une résistivité de 8 à 12 ohm-m. Vers le nord le réservoir phréatique comprend également les sables d'Assche, dont l'épaisseur ne dépasse toutefois pas 10 m (sous-zone 2a). La zone 3, qui ne couvre qu'une minime superficie dans le nord-est, est du point de vue hydrogéologique comparable à la zone 2. La résistivité de la couche inférieure varie de 11 à 14 ohm-m. Pour des raisons d'ordre géométrique cette couche a été interprétée comme un complexe argilo-sableux d'âge éo-oligocène. La zone 4 située dans le sud-ouest diffère des deux zones précédentes par des profondeurs de contact beaucoup plus grandes. Les résistivités de la couche inférieure y varient entre 12 et 18 ohm-m. Le réservoir phréatique y comprend outre les sables quaternaires également des sables du Léo-Panisélien.

$\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} \times 100$ (socl), les teneurs étant exprimées en mé/l.

TABLEAU 1.

Conductivité (18°C) μS/cm	Teneur en sels mé/l	Appréciation
< 400	4 - 9	fraîche
400 - 800	9 - 20	assez fraîche
800 - 1600	20 - 36	peu fraîche
1600 - 3200	36 - 72	assez saumâtre
3200 - 6400	72 - 180	saumâtre
6400 - 12800	180 - 400	très saumâtre
12800 - 25600	400 - 800	assez saline
25600 - 38400	800 <	saline

6. La représentation des analyses d'eau

Pour en faciliter la comparaison les résultats de chaque analyse ont été reportés dans des diagrammes de Piper (PIPER, 1944). Ces diagrammes se composent de deux diagrammes triangulaires, un pour les cations (Mg^{++} , Ca^{++} et $Na^+ + K^+$) et un pour les anions (Cl^- , SO_4^{--} et $CO_3^{--} + HCO_3^-$) et d'un diagramme en losange qui combine les deux premiers.

Dans la région étudiée les eaux ont été subdivisées d'après leur conductivité à 18 °C (tableau 1). La conductivité exprimée en μS/cm y correspond approximativement à la minéralisation exprimée en mg/l. Les teneurs exprimées en mé/l ont été déduites des données de GISCHLER (1967).

En général, dès que les eaux sont modérément saumâtres, on peut les détecter par voie géoélectrique.

Pour caractériser les eaux deux autres coefficients ont été employés, notamment le rapport $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} \times 100$ (mgca) et le rapport

7. Les groupes d'eau

En considérant surtout la répartition ionique les eaux phréatiques de la Flandre ont pu être subdivisées en neuf groupes, décrits sommairement dans le tableau 2, où les valeurs représentent des médianes, calculées d'après les résultats de 150 analyses d'eaux provenant tant de la Vallée Flamande que de la Plaine Maritime (DE MOOR & DE BREUCK, 1969).

Tous ces groupes ont été trouvés dans la Vallée Flamande, sauf le groupe 1 qui n'a été rencontré que dans la Plaine Maritime. La composition de ce groupe 1 se rapproche de celle de l'eau de mer.

La distribution relative des ions des eaux du groupe 2 (fig. 4) est très semblable à celle du groupe 1, mais la minéralisation est plus faible. L'eau contient beaucoup de sodium et de chlore. Le coefficient socl varie entre 6 et 12. Cette eau se trouve dans la zone saline (zone hydrogéologique 1), généralement à grande profondeur (65DB1 à 16,9 m, 141DB2 à 5, à 9,5 et à 13 m, 141DB6 à 15,6 m, 142DB4 à 18,1 m et 143DB2 à 18,8 m).

Le groupe 3, très répandu dans toute la

N°	Puits	Prof. m	Date	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ mg/l	Na ⁺ +K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe Total mg/l	N-comp. Total mg/l	Conduct. μ S/cm	Minéralisation mg/l	Dureté tot. °F	Dureté non carb. °F	socl	mgca	Groupe
1.	65 DB 1	16,9	01-67	13.650,00	1.561,00	789,30	6.931,20	912,00	1.183,00	4,00	2,62	24.620	25.034,00	715,00	515,00	8,40	213,70	2
2.	65 DB 1	11,1	01-67	1.128,00	113,70	1.049,20	968,60	97,20	30,60	2,52	1,44	3.706	3.392,20	36,90	5,40	7,40	52,00	4
3.	65 DB 1	8,4	01-67	322,00	125,00	702,50	384,50	62,80	43,50	0,00	2,16	1.726	1.642,80	33,60	2,80	28,70	114,70	4
4.	65 DB 1	4,25	01-67	272,00	54,80	1.159,60	545,20	45,20	21,60	1,76	3,60	1.922	2.140,90	20,20	7,60	14,90	78,70	4
5.	65 DB 1	2,0	01-67	83,00	93,30	496,50	116,00	107,20	31,60	0,02	4,14	936	932,40	39,80	4,30	83,00	48,60	7
6.	65 DB 2	13,7	01-68	676,00	60,60	950,00	787,20	22,10	21,80	0,74	2,57	2.584	2.531,50	14,50	5,50	6,60	162,60	4
7.	65 DB 2	7,0	01-68	192,00	209,30	826,00	349,00	62,10	88,00	0,00	5,66	1.496	1.732,30	51,70	7,80	80,50	233,50	6
8.	141 DB 1	5,0	07-66	109,00	3,70	380,60	180,50	17,20	10,20	0,09	4,80	713	606,90	8,50	3,90	2,50	97,70	4
9.	141 DB 1	5,0	07-66	260,00	32,30	456,30	325,10	32,00	12,10	0,34	7,72	1.298	1.126,10	13,00	3,90	9,20	62,30	4
10.	141 DB 1	9,5	11-65	652,00	28,40	450,20	540,80	29,60	12,40	0,76	15,62	2.250	1.731,13	12,50	8,60	3,20	69,00	4
11.	141 DB 1	9,5	07-66	573,00	24,10	408,70	470,80	28,00	14,10	0,39	14,61	2.020	1.535,60	12,80	5,60	3,10	82,90	4
12.	141 DB 2	0	10-65	127,00	13,20	270,80	138,70	47,20	7,50	12,20	18,16	668	636,50	14,90	10,60	7,70	26,20	6
13.	141 DB 2	5,0	07-66	3.960,00	493,60	316,00	2.086,20	313,60	220,40	0,00	13,54	10.010	7.403,40	169,10	142,30	9,20	115,80	2
14.	141 DB 2	9,5	10-65	5.880,00	798,00	427,00	3.182,00	462,40	315,70	0,06	17,87	14.380	11.084,10	245,50	220,50	10,00	112,50	2
15.	141 DB 2	9,5	07-66	5.780,00	735,50	428,20	3.156,70	486,80	310,60	0,00	15,39	13.990	10.915,40	249,50	207,70	9,40	105,10	2
16.	141 DB 2	13,0	07-66	8.850,00	1.073,00	459,90	4.282,10	886,80	464,90	11,90	24,02	19.600	16.056,20	412,00	306,20	9,00	86,40	2
17.	141 DB 3	5,0	11-65	104,00	24,30	631,70	111,00	50,80	82,90	0,17	9,77	1.050	1.014,70	46,80	31,80	17,30	268,80	7
18.	141 DB 3	15,2	07-66	86,00	53,40	580,70	103,30	61,20	78,00	0,00	3,31	990	966,00	47,40	8,20	45,90	210,00	7
19.	141 DB 4	11,0	11-65	210,00	6,20	520,90	199,00	65,60	29,20	0,02	7,22	1.194	1.038,30	28,40	3,50	2,20	73,30	6
20.	141 DB 4	11,0	07-66	143,00	4,10	446,50	155,60	61,20	22,40	0,00	16,66	1.051	850,10	24,50	2,70	2,10	60,30	6
21.	141 DB 5	23,5	01-67	40,00	7,60	351,00	22,30	108,00	7,80	0,06	2,25	504	539,70	30,20	5,10	14,00	11,90	3
22.	141 DB 5	17,5	12-66	38,00	5,60	245,20	21,20	74,00	6,60	0,00	2,45	389	393,40	21,20	4,90	10,90	14,70	3
23.	141 DB 5	17,5	01-67	36,00	2,50	261,00	15,70	82,40	5,60	0,22	2,58	392	406,40	22,90	5,10	5,10	11,20	3
24.	141 DB 5	12,5	01-67	42,00	16,10	303,00	21,10	102,00	4,60	0,06	2,94	481	492,30	27,40	7,60	28,30	7,40	3

N°	Puits	Prof. m	Date	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ mg/l	Na ⁺ +K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe Total mg/l	N-comp. Total mg/l	Conduct. μ S/cm	Minéralisation mg/l	Dureté tot. °F	Dureté non carb. °F	socl	mgca	Groupe
25.	141 DB 5	5,5	01-67	76,00	63,90	313,50	39,20	130,00	5,60	0,00	3,97	630	632,80	34,80	12,80	62,10	7,10	3
26.	141 DB 5	5,5	01-67	75,00	82,80	320,00	30,40	146,80	10,00	0,00	2,38	703	697,90	40,80	14,60	81,60	11,20	3
27.	141 DB 6	15,6	12-67	11.300,00	1.760,00	1.030,00	6.938,00	427,00	665,00	0,07	9,83	20.150	22.130,80	380,00	327,00	11,50	256,50	2
28.	141 DB 6	6,7	12-67	123,00	84,50	971,00	303,20	71,70	99,20	0,05	9,93	1.375	1.663,00	58,70	13,50	50,70	227,90	6
29.	141 DB 7	19,8	12-67	21,00	0,40	249,00	16,20	71,70	3,90	0,03	4,53	330	367,40	19,50	6,80	1,40	9,00	3
30.	141 DB 7	6,6	12-67	21,00	1,00	245,00	16,02	67,70	5,80	0,06	6,10	333	363,10	19,30	7,20	3,50	14,30	3
31.	141 DB 8	22,7	12-67	104,00	123,00	468,00	136,40	86,10	49,60	0,02	3,38	852	970,80	41,90	5,60	87,40	95,00	7
32.	141 DB 8	14,9	01-68	29,00	43,10	432,00	75,56	80,10	25,80	0,01	2,31	554	688,10	30,60	3,60	109,80	53,00	7
33.	141 DB 8	6,3	01-68	126,00	124,40	471,00	146,20	82,50	55,30	0,04	2,09	923	1.007,70	43,40	10,80	73,00	110,40	7
34.	141 DB 9	18,0	12-67	133,00	8,00	349,00	139,90	64,10	5,40	0,05	4,27	646	703,80	18,50	11,10	4,50	13,90	6
35.	141 DB 9	10,0	12-67	17,00	38,90	191,80	25,00	62,10	5,10	0,06	3,91	323	343,70	17,60	9,10	169,10	13,50	3
36.	141 DB 9	5,0	01-68	19,00	51,90	194,00	26,72	60,10	7,70	0,01	1,34	332	361,00	18,20	9,60	201,70	21,10	3
37.	142 DB 1	8,0	11-65	32,00	8,70	220,80	35,10	46,40	8,70	0,05	7,41	337	359,20	15,20	7,90	20,10	30,90	7
38.	142 DB 2	2,0	12-67	123,00	168,30	664,00	299,00	111,40	29,70	0,06	54,82	1.312	1.450,40	40,00	5,30	101,10	43,90	9
39.	142 DB 3	8,0	06-66	51,10	187,50	49,20	29,70	109,20	4,40	0,29	27,05	564	466,50	29,10	27,30	274,10	6,60	8
40.	142 DB 3	13,0	06-66	37,30	142,60	10,56	18,40	71,20	11,70	0,26	6,84	536	328,20	22,60	19,30	282,40	27,10	8
41.	142 DB 4	2,7	10-66	426,00	3,70	646,20	534,20	30,00	5,80	0,38	5,76	2.010	1.652,10	9,90	3,20	0,60	31,90	4
42.	142 DB 4	4,5	10-66	480,00	4,50	716,80	590,20	24,80	4,90	0,56	7,47	2.178	1.831,10	8,20	6,20	0,70	34,70	4
43.	142 DB 4	5,5	10-66	628,00	20,20	802,70	690,90	25,20	14,80	0,26	10,71	2.692	2.193,80	12,40	1,00	2,40	96,30	4
44.	142 DB 4	18,1	10-66	7.060,00	1.037,00	331,10	4.008,80	605,60	172,50	0,18	17,17	16.760	13.232,40	222,40	152,20	10,90	43,80	2
45.	143 DB 1 06-66	20,8	06-66	226,00	4,10	501,40	55,20	189,60	22,80	0,66	7,09	1.088	1.007,00	56,80	21,50	1,30	12,00	7
46.	143 DB 2	18,8	01-67	11.525,00	1.470,00	377,00	5.747,90	1.145,00	532,00	0,40	4,81	22.130	20.803,20	505,00	478,00	9,50	76,50	2
47.	143 DB 3	8,7	06-66	33,40	61,40	133,00	22,70	49,20	5,60	0,10	6,53	323	313,20	14,60	13,70	135,80	18,70	7
48.	143 DB 3	8,7	11-66	16,00	50,10	75,60	18,30	52,80	4,90	0,20	3,01	278	255,00	15,20	10,30	231,50	15,30	3

N°	Puits	Prof. m	Date	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ mg/l	Na ⁺ +K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe Total mg/l	N-comp. Total mg/l	Conduct. μ S/cm	Minéralisation mg/l	Dureté tot. °F	Dureté non carb. °F	socl	mgca	Groupe
49.	143 DB 3	8,7	01-67	16,00	52,10	116,00	14,00	53,60	2,90	0,97	0,60	272	264,10	14,60	12,40	240,60	8,90	7
50.	143 DB 3	14,2	01-67	46,00	69,20	51,60	23,05	66,80	17,50	0,01	8,95	588	315,30	23,90	11,70	111,20	43,20	8
51.	143 DB 4	22,3	07-66	2.180,00	96,20	447,70	967,30	408,40	87,70	0,04	11,54	5.920	4.199,30	138,20	98,20	3,30	35,40	5
52.	143 DB 4	22,3	11-66	2.940,00	183,30	463,60	1.463,90	488,40	52,20	0,36	14,60	7.140	5.607,30	143,70	102,00	4,60	17,70	5
53.	143 DB 5	10,0	09-67	116,00	137,00	362,30	214,20	37,30	16,30	0,24	8,99	870	892,70	16,00	3,50	87,30	72,00	4
54.	143 DB 6	15,0	01-68	65,00	62,21	405,00	60,80	141,00	7,50	0,09	11,63	649	745,40	38,20	11,70	70,70	8,80	3
55.	143 DB 6	4,0	01-68	25,00	49,65	201,30	33,84	60,10	7,20	0,06	2,86	353	380,20	18,00	8,80	146,70	19,70	3
56.	143 DB 7	21,3	01-68	16,00	20,81	235,50	16,44	71,90	4,20	0,00	4,10	313	368,20	19,70	6,10	96,20	9,60	3
57.	143 DB 7	13,0	01-68	42,00	104,44	164,70	41,16	75,60	4,50	0,03	3,28	424	435,80	20,70	12,80	183,80	9,80	8
58.	143 DB 7	6,7	01-68	51,00	93,94	230,60	34,24	96,00	9,70	0,04	1,56	474	571,20	27,90	12,20	129,10	16,70	7
59.	145 DB 1	24,4	12-66	22,00	1,40	307,40	15,60	81,60	8,00	0,01	6,40	422	442,70	23,70	4,50	4,70	16,20	3
60.	145 DB 1	24,4	01-68	20,00	2,10	307,40	13,50	76,00	12,90	0,00	4,31	430	437,10	24,30	4,90	7,80	28,00	3
61.	145 DB 1	19,8	01-67	19,00	7,40	260,60	12,50	78,40	3,90	0,15	5,88	365	388,00	21,20	7,00	28,70	8,20	3
62.	145 DB 1	17,0	01-67	22,00	3,70	325,00	12,65	98,00	3,20	0,16	4,70	436	469,80	25,50	4,70	12,40	5,40	3
63.	145 DB 1	7,5	01-67	12,00	7,40	49,20	14,10	28,00	12,60	0,01	11,45	188	159,20	12,20	8,40	45,60	74,10	9
64.	145 DB 1	3,0	01-67	90,00	223,70	284,30	32,50	157,20	23,10	0,01	5,66	850	817,40	48,80	28,40	183,60	24,20	9
65.	145 DB 2	27,5	07-67	24,00	40,60	173,20	15,40	61,70	7,50	1,02	4,55	315	328,20	18,50	15,20	125,00	20,00	3
66.	145 DB 2	19,0	07-67	55,00	101,00	211,10	41,50	106,20	5,80	0,86	23,50	520	545,20	28,90	10,50	135,70	9,00	7
67.	145 DB 2	6,3	07-67	99,00	150,00	325,74	151,60	139,00	37,70	0,83	223,33	1.076	1.127,40	50,20	27,10	111,90	44,70	9
68.	145 DB 3	16,8	12-67	16,00	1,60	188,00	11,24	52,50	6,10	0,02	1,66	262	277,40	15,60	6,40	7,30	19,20	3
69.	145 DB 3	10,8	12-67	17,00	7,00	149,30	13,80	53,70	5,10	0,06	4,23	258	250,30	15,50	9,00	30,50	15,60	3
70.	145 DB 3	4,0	12-67	93,00	59,50	316,00	97,04	94,50	8,30	0,12	4,13	602	672,80	27,00	6,80	47,30	14,50	6
71.	145 DB 5	21,0	09-67	45,00	2,30	439,20	32,60	113,80	14,30	4,70	4,31	531	656,90	34,30	4,60	3,80	20,70	3
72.	145 DB 6	6,0	09-67	266,00	246,00	468,50	386,00	206,00	43,50	0,08	344,00	1.865	1.960,90	69,40	32,00	68,30	34,80	9

N°	Puits	Prof. m	Date	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ mg/l	Na ⁺ +K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe Total mg/l	N-comp. Total mg/l	Conduct. μ S/cm	Minéralisation mg/l	Dureté tot. °F	Dureté non carb. °F	socl	mgca	Groupe
73.	145 DB 7	19,0	12-67	35,00	45,10	243,00	39,92	76,90	6,10	0,01	31,20	417	455,60	21,70	8,40	95,20	13,10	3
74.	145 DB 7	3,0	12-67	43,00	139,30	293,00	55,50	149,00	5,40	0,02	49,58	642	735,00	39,40	19,80	239,20	6,00	9
75.	145 DB 8	19,4	12-67	33,00	9,10	346,00	17,44	102,50	10,40	0,05	4,61	448	523,50	29,90	6,20	20,40	16,70	3
76.	145 DB 8	2,6	12-67	49,00	100,50	433,00	37,94	160,60	11,90	0,00	12,84	652	416,30	45,00	14,80	151,50	12,20	3
77.	146 DB 1	6,7	06-60	76,60	14,00	532,00	102,40	104,80	21,40	0,02	6,44	889	857,90	35,00	3,50	13,50	33,60	7
78.	146 DB 1	6,7	11-66	160,00	57,90	430,10	98,10	145,20	12,40	0,08	7,25	928	911,30	41,40	29,10	26,70	14,10	7
79.	146 DB 3	11,9	10-66	26,00	35,40	220,80	28,40	60,00	12,10	0,02	2,70	398	385,50	20,00	8,70	100,50	33,20	3
80.	146 DB 4	12,4	07-66	28,00	52,90	298,90	35,70	84,00	17,00	0,07	5,37	578	522,30	28,00	9,10	139,50	33,30	3
81.	146 DB 4	7,7	07-66	105,00	156,60	262,30	85,20	121,20	15,10	0,16	9,60	848	755,90	36,50	20,60	110,20	20,50	7
82.	147 DB 1	13,5	06-66	116,00	79,70	414,00	67,70	157,20	20,90	0,03	38,53	966	894,20	47,90	9,20	50,70	21,90	7
83.	147 DB 2	17,0	06-66	51,10	16,30	590,00	106,90	78,00	35,70	0,36	3,52	853	882,10	34,20	0,00	23,60	75,50	7
84.	147 DB 3	8,0	06-66	62,80	37,10	474,60	25,40	91,20	59,00	0,08	2,28	713	752,70	47,10	2,30	43,60	106,60	7
85.	147 DB 4	19,0	11-66	24,00	2,10	697,80	55,80	188,40	3,90	0,48	5,42	716	978,00	48,70	8,20	6,50	3,40	3
86.	147 DB 5	17,0	07-67	43,00	27,60	147,60	22,82	48,00	6,30	0,00	3,08	335	298,50	14,60	6,80	47,40	21,60	7
87.	147 DB 5	17,0	02-67	59,00	105,70	168,20	29,54	99,60	9,20	0,00	2,44	477	473,80	28,70	18,60	132,30	15,20	7
88.	147 DB 6	13,7	10-66	26,00	47,60	180,60	29,10	55,20	10,20	0,92	2,41	358	352,40	18,00	7,10	135,30	30,40	3
89.	147 DB 6	13,7	10-66	28,00	46,60	163,50	21,70	58,40	9,20	0,04	1,22	359	329,00	18,40	7,40	122,90	26,00	3

Pour la conversion des valeurs en mg/l dans le tableau en mé/l il suffit de diviser par 35,46 pour Cl⁻, par 48 pour SO₄⁻⁻, par 61 pour HCO₃, par 30 pour CO₃, par 23 pour Na, par 39,096 pour K, par 20,03 pour Ca et par 12,16 pour Mg.

Vallée Flamande, se trouve à toutes les profondeurs aussi bien dans les sables quaternaires que dans les sables tertiaires (141DB5 à 5,5, à 12,5, à 17,5 et à 23,5 m; 141DB7 à 6,7 et à 19,8 m; 141DB9 à 5 et 10 m; 143DB6 à 4 et à 15 m; 143DB7 à 21,3 m; 145DB1 à 17, à 19,8 et à 24,2 m; 145DB2 à 27,5 m; 145DB3 à 10,8 et à 16 m; 145DB5 à 21 m; 145DB7 à 19 m; 145DB8 à 2,6 m et à 19 m; 146DB3 à 11,9 m; 146DB4 à 12,4 m; 147DB4 à 19 m; 147DB6 à 13,7 m). C'est une eau fraîche ou assez fraîche, caractérisée par une abondance relative de calcium qui atteint jusqu'à 90% des cations (fig. 4). Les carbonates et les bicarbonates constituent entre 55 et 95% des anions et la dureté totale se situe entre 25 et

35 °F. Cette eau contient peu de sulfates, mais la teneur en chlore varie assez fortement de sorte que le coefficient soci oscille entre 1 et 230.

Les eaux du groupe 4 (fig. 5), moins fortement minéralisées que celles du groupe 2, sont peu fraîches ou assez saumâtres. Toutefois la teneur relative en sodium atteint 95% des cations. Par contre la teneur relative en chlore est extrêmement variable. Cette eau se trouve dans la zone saline (65DB1 à 4,2, à 8,4 et à 11,1 m; 65DB2 à 13,7 m; 141DB1 à 5 et à 9,5 m; 142DB4 à 2,7, à 4,5 et à 5,5 m; 143DB5 à 10 m), où elle forme une couche qui peut atteindre 10 m d'épaisseur et qui repose sur les eaux du groupe 2. Cette eau est

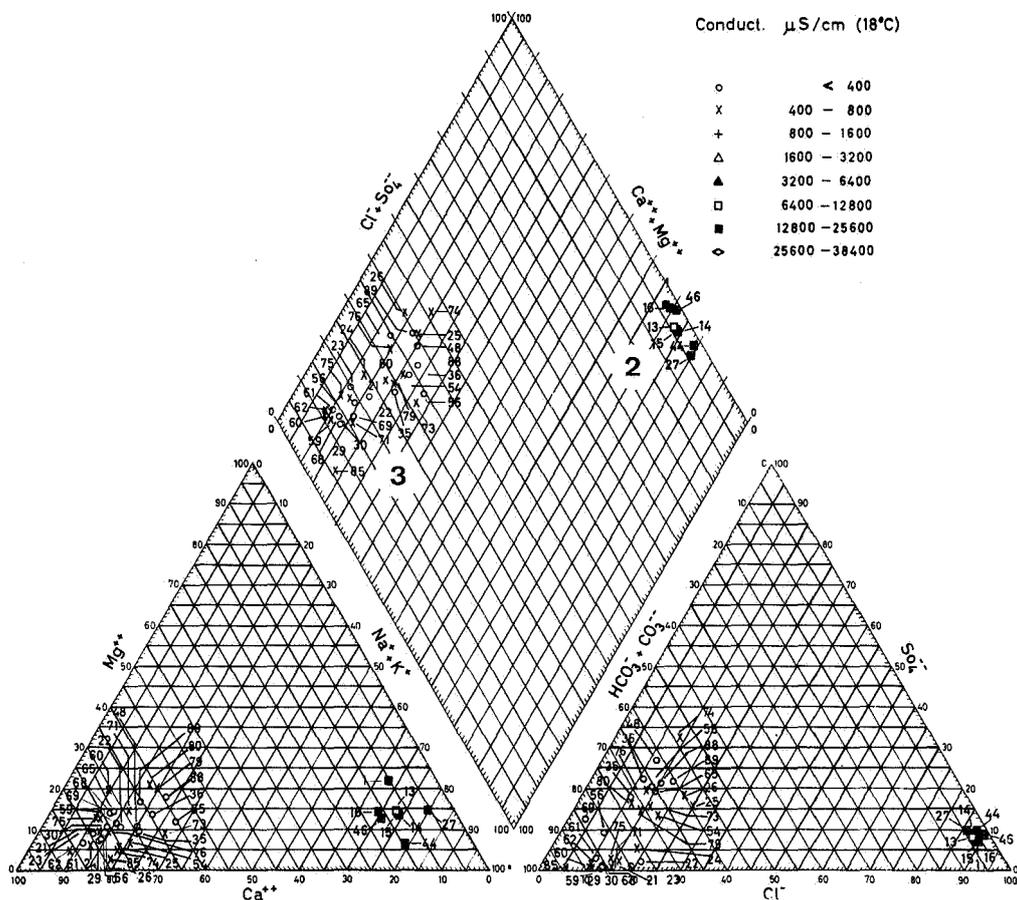


Fig. 4. Distribution relative des ions dans les échantillons d'eau des groupes 2 et 3.

le plus souvent couverte par des eaux du groupe 6 ou 7.

Le groupe 5 (fig. 5) n'a été rencontré qu'à un endroit dans la Vallée Flamande (143DB4 à 22,3 m). Ce groupe contient des eaux saumâtres où le sodium intervient pour 45 à 60% et le calcium pour 25 à 35% dans la distribution relative des cations. La distribution des anions est très semblable à celle des groupes 2 et 1.

Les eaux du groupe 6 sont assez fraîches à saumâtres (fig. 6). Le sodium constitue 40 à 65% des cations. La distribution relative des anions diffère fortement de celle du groupe précédent: le chlore varie entre 15 et 45%; les carbonates et les bicarbonates atteignent

40 à 75%. Ces eaux se rencontrent dans la zone saline (65DB2 à 7 m; 141DB2 à la surface; 141DB4 à 11 m; 141DB6 à 6,7 m; 141DB9 à 18 m). Elles reposent parfois sur les eaux du groupe 4. En dehors de la zone saline cette eau n'a été trouvée qu'à un seul endroit (145DB3 à 4 m). Il s'agit probablement d'eau polluée.

Les eaux peu fraîches à fraîches du groupe 7 (fig. 7) contiennent relativement peu de sodium et de chlore. Le magnésium et le calcium constituent jusqu'à 90% des cations; 90% des anions sont des carbonates ou des bicarbonates. Les eaux du groupe 7 se trouvent dans la zone saline au-dessus du niveau de contact géoélectrique, qui marque la

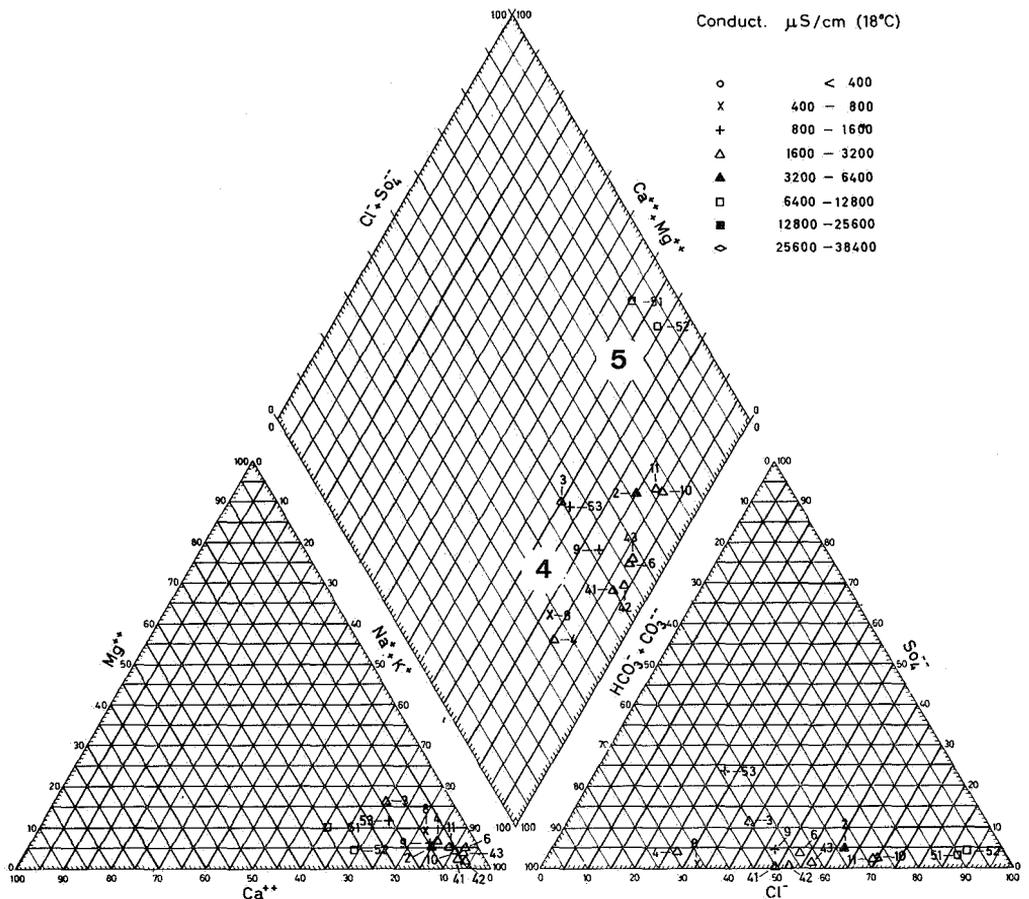


Fig. 5. Distribution relative des ions dans les échantillons d'eau des groupes 4 et 5.

séparation entre les eaux fraîches et les eaux saumâtres (65DB1 à 2 m; 141DB3 à 5 et à 15,2 m; 141DB8 à 6,3, à 14,9 et à 22,7 m; 142DB1 à 8 m; 143DB1 à 20,8 m; 143DB3 à 8,7 m; 143DB7 à 6,7 m; 145DB2 à 19 m; 146DB1 à 6,7 m; 146DB4 à 7,7 m; 147DB1 à 13,5 m; 147DB2 à 17 m; 147DB3 à 8 m; 147DB5 à 17 m). On les rencontre également en dehors de la zone saline, notamment dans la dépression du Moervaart.

Le groupe 8 (fig. 6) est formé d'eaux assez fraîches à fraîches avec 15 à 30% de sodium et 60 à 80% de calcium dans les cations. Les carbonates et les bicarbonates constituent 20 à 45% des anions, alors que les sulfates varient

entre 30 et 60%. Ces eaux se trouvent sous la ride sableuse entre la dépression du Moervaart et la zone saline des polders (142DB3 à 8 et à 13 m; 143DB3 à 14,2 m; 143DB7 à 13 m).

Les eaux du groupe 9 sont polluées par des engrais et se rencontrent généralement près de la surface (142DB2 à 2 m; 145DB1 à 3 et à 7,5 m; 145DB2 à 6,3 m; 145DB6 à 6 m; 145DB7 à 3 m).

8. Répartition et provenance des eaux

La distribution horizontale et verticale des différents groupes d'eau (fig. 8 et fig. 9) et leurs relations chimiques (fig. 10) peuvent fournir

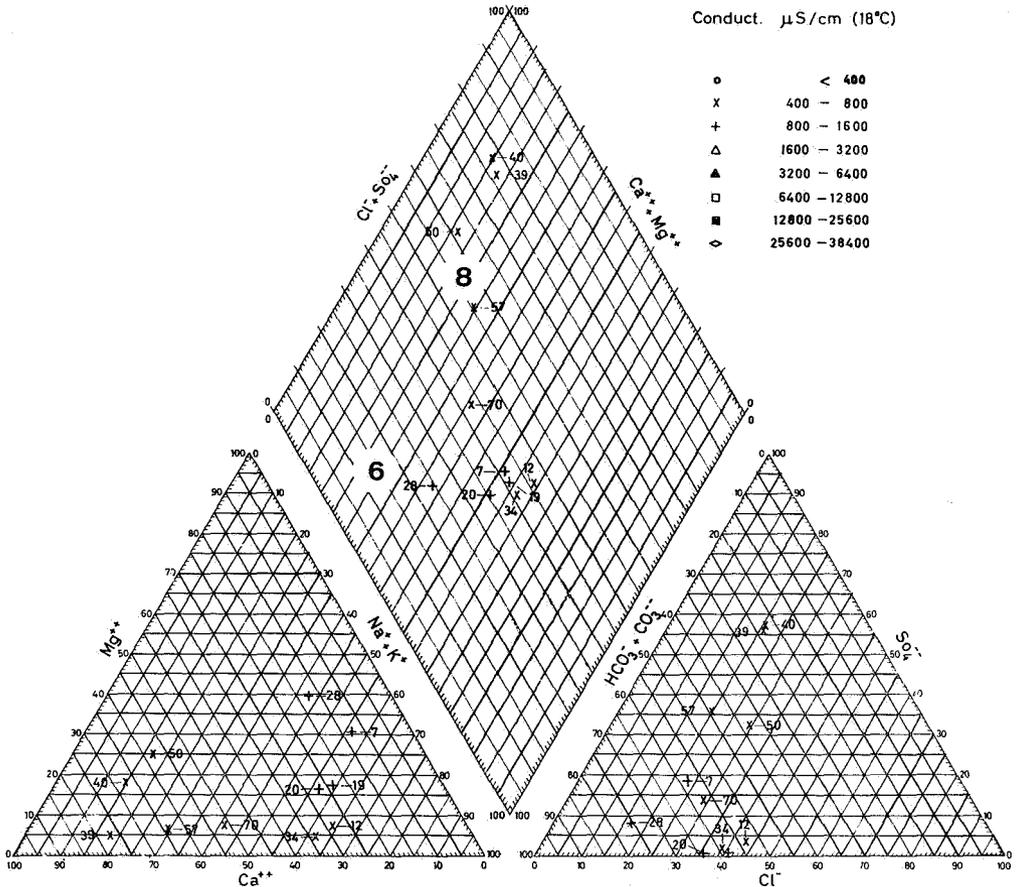


Fig. 6. Distribution relative des ions dans les échantillons d'eau des groupes 6 et 8.

les indications au sujet de l'origine et de l'évolution de la nappe phréatique.

Le groupe 1 correspond à l'eau de mer dont l'apport est assuré par infiltration latérale. La région étudiée est trop éloignée de la mer pour que l'on puisse y rencontrer le groupe 1. Le groupe 3 provient de l'eau de précipitation qui n'a pas encore séjourné assez longtemps dans le sol pour y subir d'importants changements. Dans ce sens, on peut considérer les groupes 1 et 3 comme des eaux primaires (native water, sensu PIPER et al., 1953). Les autres groupes sont évolués à partir de ces eaux, soit par simple dilution, soit, dans la plupart des cas, par modification de la composition ionique à la suite de mélange, de

diffusion ou d'échange ionique entre les eaux et les sédiments.

Ainsi le groupe 2, confiné aux parties profondes du réservoir dans la zone saline, est une eau de mer diluée par les eaux de percolation. La transition de cette eau vers les eaux faiblement minéralisées du groupe 7, lui-même dérivé du groupe 3, se fait par les groupes 4, 5 et/ou 6.

L'eau saumâtre, qui à l'origine remplissait les sédiments émiens, semble avoir été expulsée pendant la période glaciaire ultérieure. Plus tard, pendant la période holocène la mer a repris son mouvement de transgression envahissant certaines parties septentrionales de la région. Cette transgression a provoqué une

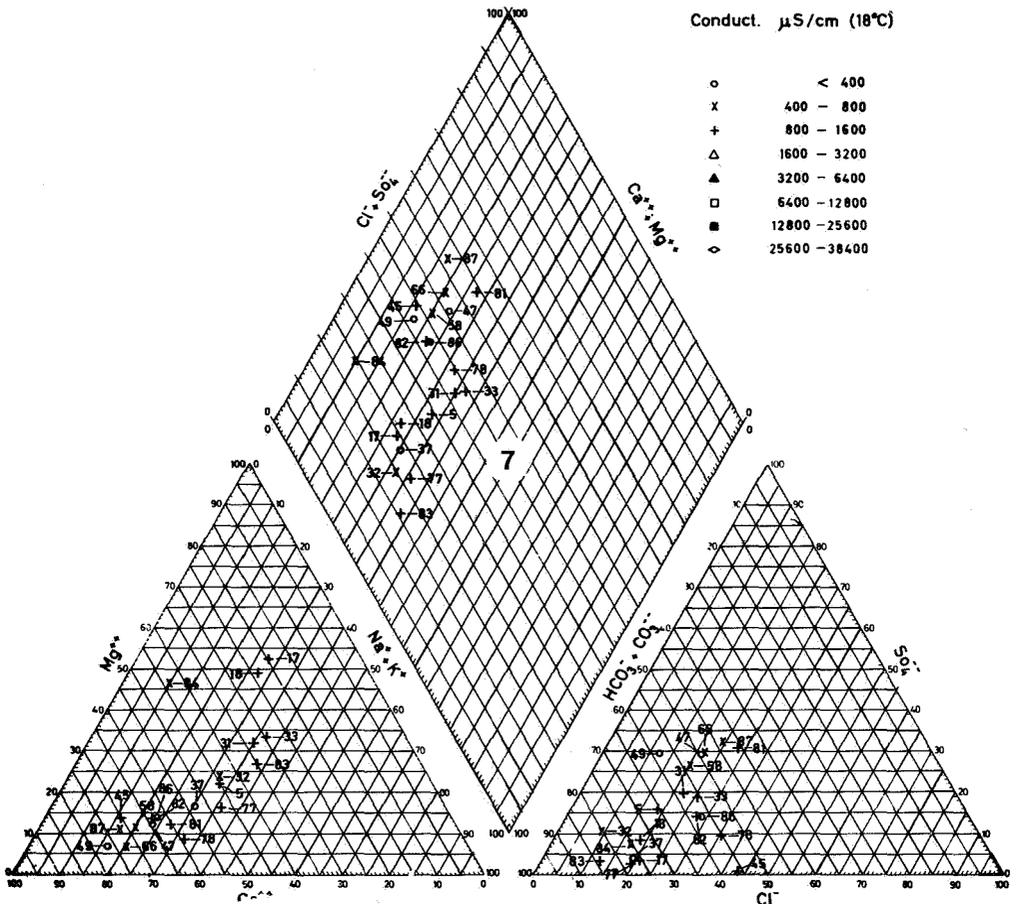


Fig. 7. Distribution relative des ions dans les échantillons d'eau du groupe 7.

infiltration de l'eau de mer dans le sous-sol. Cette infiltration a été limitée par l'eau de percolation due aux précipitations et par l'eau amenée par des courants souterrains provenant de l'arrière-pays. On retrouve l'eau du groupe 2 loin au-dessus des sédiments émiens, ce qui prouve que cette eau a été amenée ultérieurement.

En d'autres endroits l'extension de la nappe saumâtre a été arrêtée par le sous-sol imperméable. En effet les eaux du groupe 7 ne se rencontrent pratiquement jamais au sud de la cuesta asschienne enfouie, celle-ci empêchant leur pénétration vers le sud.

La distribution des eaux fraîches et des eaux saumâtres dans la région poldérienne a été fortement influencée par des courants souterrains en direction nord-ouest, parmi lesquels celui entre Bassevelde et Lembeke est le plus important. Au nord-est de Bassevelde et à l'ouest d'Assenede le groupe 7 est absent. Le groupe 3 s'y trouve à 20 m (141 DB7) ou à 10 m (141DB9) de profondeur. Ces sondages se situent au nord de la limite de salinité. L'eau y provient vraisemblablement d'un important courant souterrain suivant approximativement la partie la plus profonde du thalweg de la Vallée Flamande.

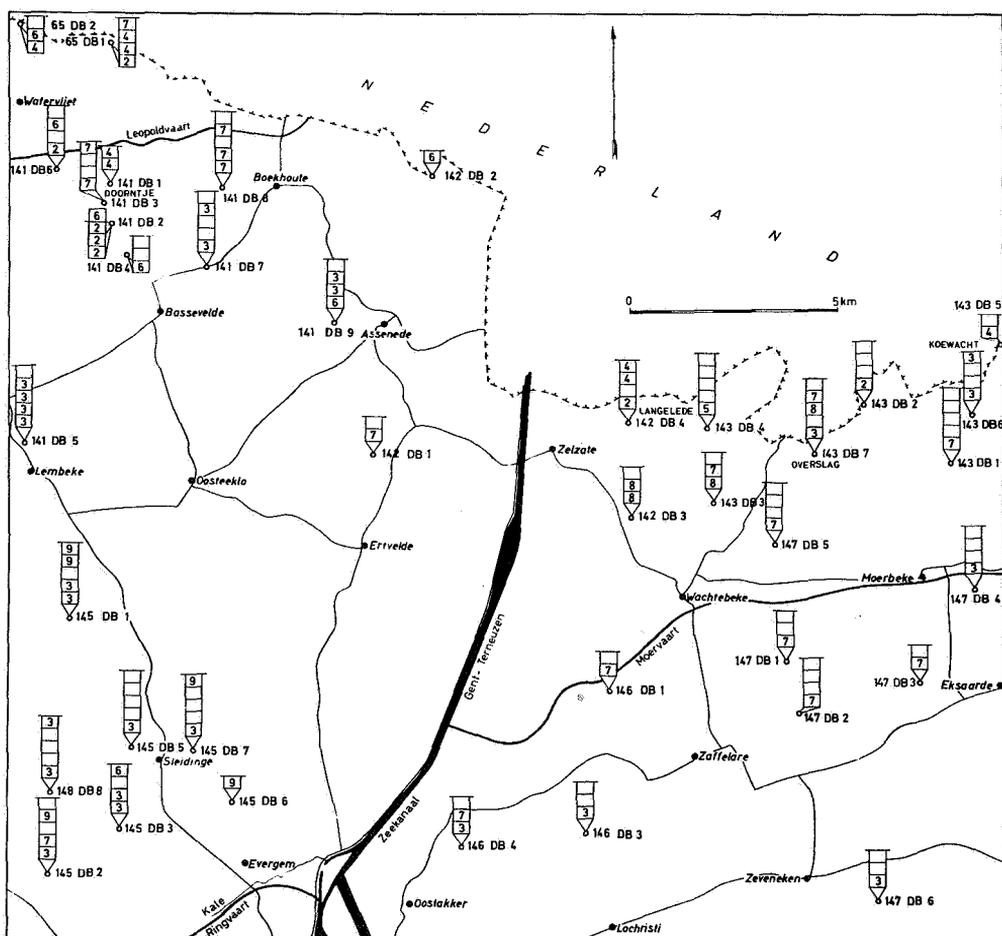


Fig. 8. Distribution des groupes d'eau. Chaque emplacement de forage est indiqué par une échelle de profondeur, composée de rectangles correspondant à une tranche de 5 m. Le symbole du groupe d'eau est indiqué dans le rectangle correspondant à la profondeur de l'échantillon.

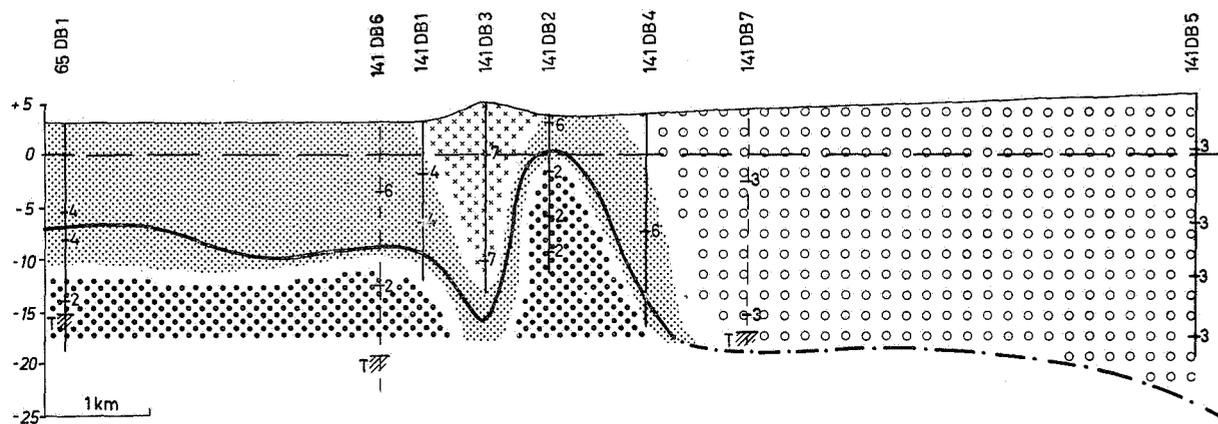
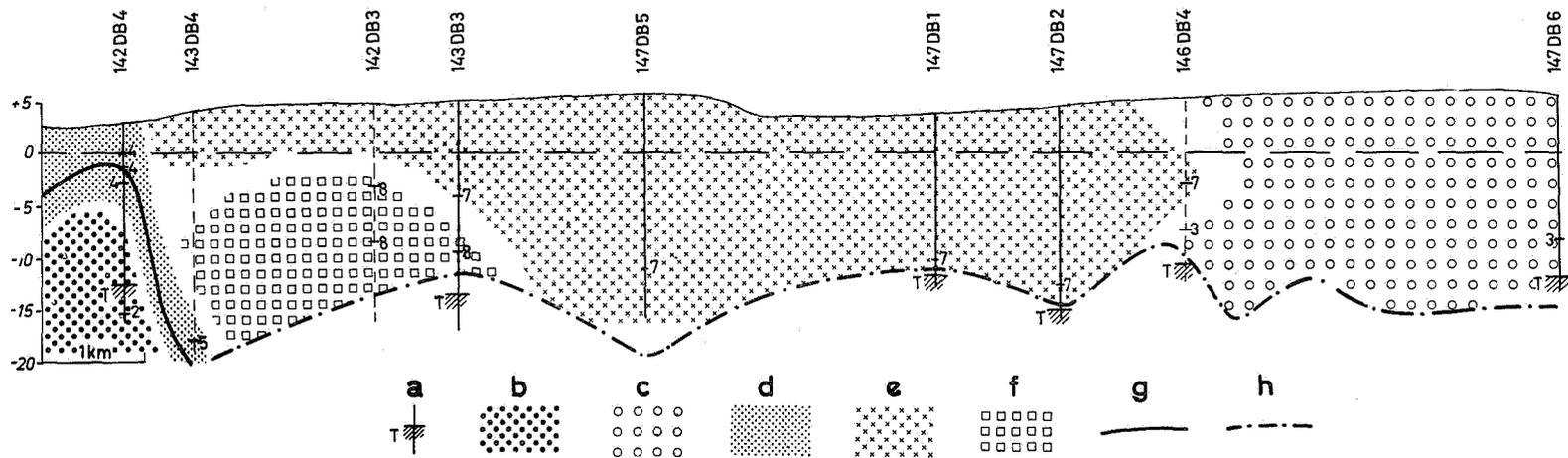


Fig. 9.

Profils hydrochimiques. Les forages sur les profils sont indiqués en traits continus, les forages projetés en traits interrompus. Les chiffres correspondent au groupe d'eau trouvé à la profondeur indiquée.

- a Tertiaire atteint en forage
- b Eaux du groupe 2
- c Eaux du groupe 3
- d Eaux des groupes 4-5-6
- e Eaux du groupe 7
- f Eaux du groupe 8
- g Contact géoélectrique sur nappe saumâtre
- h Contact géoélectrique sur argile.



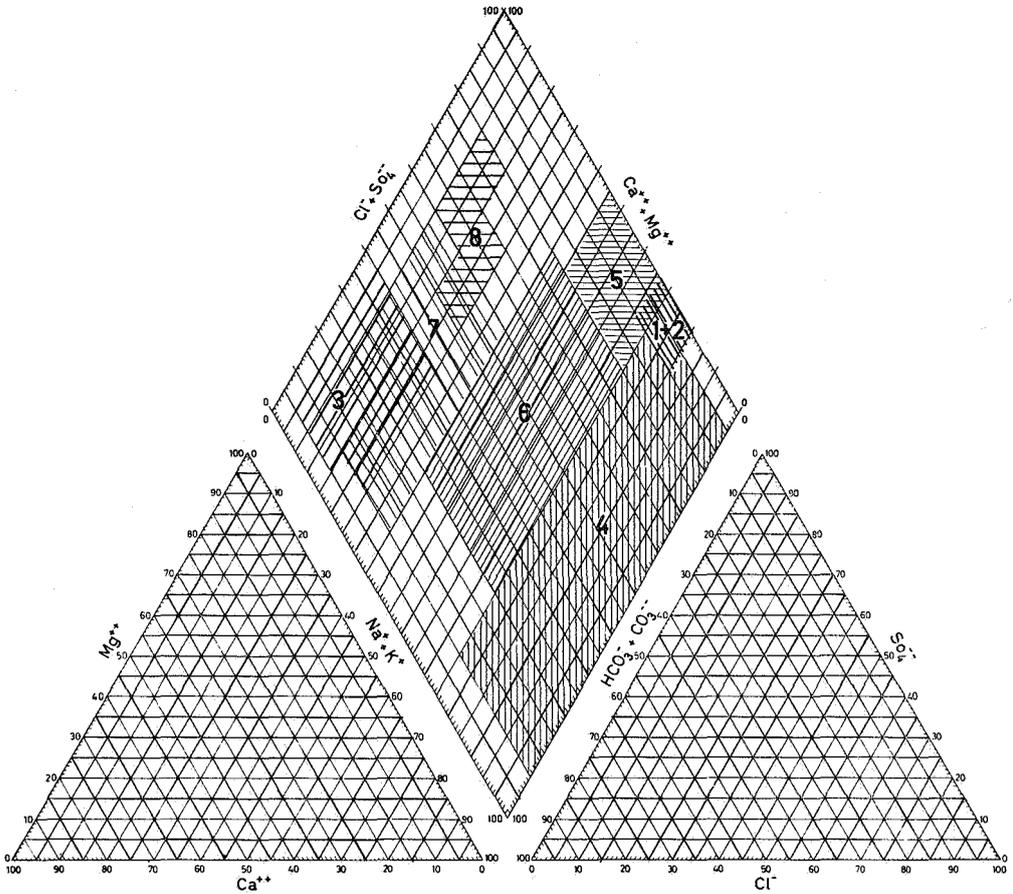


Fig. 10. Représentation schématique de la distribution relative des ions pour les différents groupes d'eau.

Entre Wachtebeke-Langelede et Koewacht la poche d'eau fraîche appartenant au groupe 7 et située sous la ride sableuse a limité l'infiltration d'eau saumâtre en provenance du nord. Une poche d'eau fraîche analogue s'est également formée à Bassevelde-Doortje (141DB3) et à Boekhoute (141DB8), où une barre sableuse traverse la zone saline.

Au sud de la limite des polders se rencontrent des eaux du groupe 7 dans la dépression du Moervaart. Il est possible que ces eaux

s'y soient formées par suite de la venue d'eau saumâtre pendant les transgressions dunkerquiennes.

Dans la ride sableuse entre Oosteklo et Moerkerke on trouve des eaux du groupe 8 à l'est d'Assenede. L'origine de ces eaux à teneur en sulfate relativement élevée reste actuellement assez obscure. Leur composition ressemble à celle des eaux phréatiques du Parisélien.

BIBLIOGRAPHIE

- COLEMA RENICK, B. (1924). Base exchange in ground water by silicates as illustrated in Montana. *U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper*, **520-D**.
- COOPER, H.H.Jr., KOHOUT, F.A., HENRY, H.R. & GLOVER, R.E. (1964). Sea water in coastal aquifers. *U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper*, **1613-C**.
- DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1962). Premiers résultats d'une prospection électrique dans la Vallée Flamande. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.*, **71**, 518-543.
- DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1969). The water-table aquifer in the eastern Coastal Area of Belgium. *Bull. Int. Sci. Hydrol.*, **14**, 1-19.
- DE MOOR, G. (1963). Bijdrage tot de kennis van de fysische landschapsvorming in Binnen-Vlaanderen. *Tijdschr. Belg. Ver. Aardrijksk. Stud.*, **32**, 329-433 (Verhandeling n° 13).
- GARRELS, R.M., DREYER, R.M. & HOWLAND, A.L. (1949). Diffusion of ions through intergranular spaces in water-saturated rocks. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **60**, 1809-1828.
- GISCHLER, C.E. (1967). A semi-qualitative study of the hydrogeology of the North Netherlands. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, Geol. Ser., **24**, 1-75.
- HEM, J.D. (1959). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper*, **1473**.
- KOHOUT, F.A. & KLEIN, H. (1967). Effect of pulse recharge on the zone of diffusion in the Biscayne aquifer. *Int. Ass. Sci. Hydrol.*, Publ. **72**, 252-270. (Symposium of Haïfa).
- MARÉCHAL, R., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1967). Une prospection géoélectrique dans la Région Côtière et dans la Vallée Flamande. *Mensuel Centr. belge Et. Doc. Eauv.*, **285-286**, 1-7.
- MARÉCHAL, R., DE MOOR, G. & VERMEIRE, R. (1961). Geologie, in: *Survey voor het streekplan Gent, Land van Waas, Meetjesland en Vlaamse Ardennen*. Gent: Geologisch Instituut, Rijks-universiteit.
- PIPER, A.M. (1944). A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Am. Geophys. Un. Trans.*, **25**, 914-923.
- PIPER, A.M., GARRETT, A. and others. (1953). Native and contaminated waters in Long Beach — Santa Ana area, California. *U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper*, **1136**.
- REVELLE, R. (1941). Criteria for the recognition of sea water in ground water. *Am. Geophys. Un. Trans.*, **22**, 593-597.
- TAVERNIER, R. (1946). L'évolution du Bas-Escaut au Pléistocène supérieur. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.*, **55**, 106-125.
- TAVERNIER, R. (1954). Le Quaternaire, in: *Pro-drome d'une description géologique de la Belgique*. Liège: Vaillant-Carmanne.
- VOLKER, A. (1961). Source of brackish ground water in Pleistocene formations beneath the Dutch Polderland. *Econ. Geol.*, **56**, 1045-1057.
- WALTER, F. (1963). Some results of geo-electrical investigations in the alluvial areas in the Netherlands. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, Geol. Ser., **21**, 233-241.

Communication présentée le 15 juillet 1969.