

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
74, rue de la Fédération - 75-PARIS-15^e - Tél. 783 94-00

DIRECTION DU SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
B.P. 818 - 45-Orléans-La Source - Tél. 66-06-60

ÉTUDE PAR LE RADIOCARBONE DE LA NAPPE CAPTIVE DE L'ALBIEN DU BASSIN DE PARIS

par

J. EVIN* et Y. VUILLAUME**



* Université de Lyon

**B.R.G.M.

Université de Lyon
Département des Sciences de la Terre
Laboratoire de radiocarbone
43, boulevard du 11 novembre 1918
69 - VILLEURBANNE

Département d'hydrogéologie
Boîte postale 818
45 - ORLÉANS - La Source

70 SGN 123 HYD

Février 1970

RESUME

Cette étude présente les résultats de 60 mesures de radioactivité du C 14 contenu dans les eaux de la nappe de l'Albien du Bassin de Paris. Plusieurs études hydrogéologiques relatives à cet aquifère ayant déjà été effectuées, il a été tenu compte des données qu'elles ont fournies pour le choix des points de mesure ainsi que pour l'interprétation des résultats de C 14, isotope dont la période était bien adaptée à l'étude entreprise.

Une carte en courbes d'isoactivité confirme les conclusions des études antérieures hydrochimiques et celles récentes de l'hydrodynamique de la nappe. Cette confirmation porte aussi bien sur le mode d'alimentation de la nappe que sur les écoulements vers le centre du bassin (vallée de la Seine notamment) depuis les zones périphériques.

Réalisée en collaboration avec le laboratoire de radiocarbone de l'Université de Lyon (département des Sciences de la Terre), et avec le concours du Laboratoire de Géodynamique de la Faculté des Sciences de Paris, cette étude a été entreprise principalement dans le but d'éprouver les contributions de la datation des eaux souterraines par analyses de radio-isotopes naturels -en l'occurrence C 14- aux recherches hydrogéologiques. Elle entre dans le cadre des recherches méthodologiques générales du département d'hydrogéologie.

Ce travail a fait l'objet d'une communication au Colloque sur l'emploi des isotopes en hydrologie organisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique qui a eu lieu à Vienne du 9 au 13 mars 1970.

SOMMAIRE

	pages
RESUME	
INTRODUCTION	
1. <u>CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE</u>	3
1.1. Conditions géologiques	3
1.2. Conditions hydrogéologiques	3
1.3. Conditions d'utilisation de la méthode au Carbone 14 et analyses chimiques	6
2. <u>METHODOLOGIE DES MESURES</u>	8
2.1. Les puits	8
2.2. Les prélèvements	8
2.3. Traitement des eaux prélevées	9
2.4. Traitement et comptage au Laboratoire de radiocarbone	9
3. <u>PRESENTATION DES RESULTATS</u>	10
4. <u>INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE</u>	15
4.1. Ensemble du bassin	15
4.2. Etude régionale de l'alimentation à la périphérie	16
4.3. Vitesse d'écoulement	20
5. <u>CONCLUSIONS</u>	21
5.1. Enseignement retiré relatif à la nappe de l'Albien	21
5.2. Conclusion méthodologique	21
5.3. Conclusion sur le mode d'utilisation des techniques iso- topiques et leur intérêt en hydrogéologie	22
BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE	

INTRODUCTION

L'objectif de la présente étude entreprise de 1967 à 1969 était d'éprouver les conditions d'application des méthodes de "datation" des eaux souterraines par analyse isotopique du C 14 et d'évaluer les possibilités d'investigation nouvelles qu'elles apportent en hydrogéologie, en opérant sur un cas concret pouvant avoir une portée d'exemple assez générale : la nappe de l'Albien du Bassin de Paris.

Antérieurement plusieurs rapports avaient été consacrés à l'exposé des principes de ces méthodes [1,2,3], des conditions de leur application [3] et du programme de recherches envisagé par le Service d'hydrogéologie dans ce domaine [4] :

- [1] DS 65 A 88 Age des eaux souterraines et renouvellement des réserves des nappes - Réflexions sur les bases de l'hydrochronologie.
J. MARGAT
- [2] DS 65 A 90 Datation des eaux et des calcaires par la méthode du C 14.
Etude documentaire - A. LALLEMAND
- [3] DS 67 A 37 Datation des nappes d'eau souterraine par le radiocarbone.
J. MARGAT - Y. VUILLAUME
- [4] DS 67 A 149 Application des méthodes de datation des eaux souterraines par radio-isotopes - Avancement des travaux en 1967.
Y. VUILLAUME

Le choix de la nappe de l'Albien se justifiait à la fois par l'étendue et l'importance économique de cette nappe captive, et par l'état d'avancement des connaissances sur ses conditions hydrogéologiques.

L'existence d'une nappe captive située à grande profondeur sous Paris dans les couches de sables albiens, est connue depuis plus d'un siècle. Plusieurs études de l'alimentation de cet aquifère et de ses écoulements ont déjà été faites (1), (2), (3), (4)*. Elles étaient devenues nécessaires du fait

* Les nombres entre parenthèses renvoient à la bibliographie.

de l'abaissement considérable des niveaux piézométriques dans la région parisienne depuis 1841 (environ 100 m). Récemment des études hydrodynamiques et chimiques ont conduit à une nouvelle interprétation hydrogéologique (5). Il était intéressant de vérifier si la mesure de la radioactivité de l'eau en différents points de la nappe permettait d'aboutir à des conclusions identiques et de voir quelles nouvelles informations seraient fournies par la méthode du radiocarbone. A cet effet, 60 prélèvements répartis sur l'ensemble du Bassin de Paris ont été analysés.

On expose ici les résultats de mesures isotopiques (principalement C 14) réunis en deux ans pour étudier le comportement des eaux de la nappe de l'Albien du Bassin de Paris non plus seulement sous l'aspect des transferts de pressions mais aussi sous celui des transferts de molécules d'eau.

Cette étude à but principalement méthodologique a été réalisée en étroite collaboration avec le Laboratoire du radiocarbone de l'Université de Lyon (département des Sciences de la Terre) et elle a bénéficié du concours du Laboratoire de géodynamique de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris*.

* Ces collaborations sont intervenues en application de conventions bilatérales passées entre le B.R.G.M. (programme de travaux propres) et ces laboratoires.

1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

1.1. Conditions géologiques (fig. 1, in (2))

Le réservoir de l'Albien (sommet du Crétacé inférieur) est constitué par une série de couches sablo-argileuses. Ces couches, affleurant à l'Est et au Sud-Est du bassin, s'enfoncent lentement vers la région parisienne où elles atteignent leur profondeur maximale. Dans la région des affleurements du S-E on a pu reconnaître trois niveaux sableux (3), (4), (5), sur une épaisseur de l'ordre de 100 m, sans cependant pouvoir différencier les nappes de ces trois niveaux. Vers le centre du bassin, on observe un épaissement de la couche albienne au N-E de Paris.

Les formations géologiques immédiatement en dessous de l'Albien sont, au S-E les sables argileux du Barrémien qui se distinguent peu de l'Albien, au Centre et à l'Ouest les calcaires marneux du Jurassique aux caractéristiques hydrogéologiques plus différenciées.

L'Albien est surmonté par 10 à 50 m d'argiles du Gault et de marnes de Brienne qui permettent la mise en pression de l'eau dans le réservoir et par des terrains cénomaniens ; à l'Ouest et au Sud-Ouest du bassin, ces derniers, essentiellement sableux, sont en contact direct avec l'Albien et renferment une nappe qui n'a pu être distinguée de celle de l'Albien.

Aux terrains cénomaniens se superpose la craie dont l'épaisseur varie de quelques dizaines de mètres en bordure du bassin à quelques centaines au Centre. La craie contient une nappe libre, excepté autour de Paris où une série sableuse et calcaire du Tertiaire la recouvre (6).

1.2. Conditions hydrogéologiques

Plusieurs centaines de forages, exécutés pendant 150 ans, sont répartis sur le bassin, essentiellement le long de la Seine autour de Paris. Leur répartition inégale fait que les régions Est et Nord-Est sont peu connues. Cependant, plusieurs essais de carte piézométrique ont été tentés (2), (3), (4). La figure 2 tient compte des données les plus récentes.

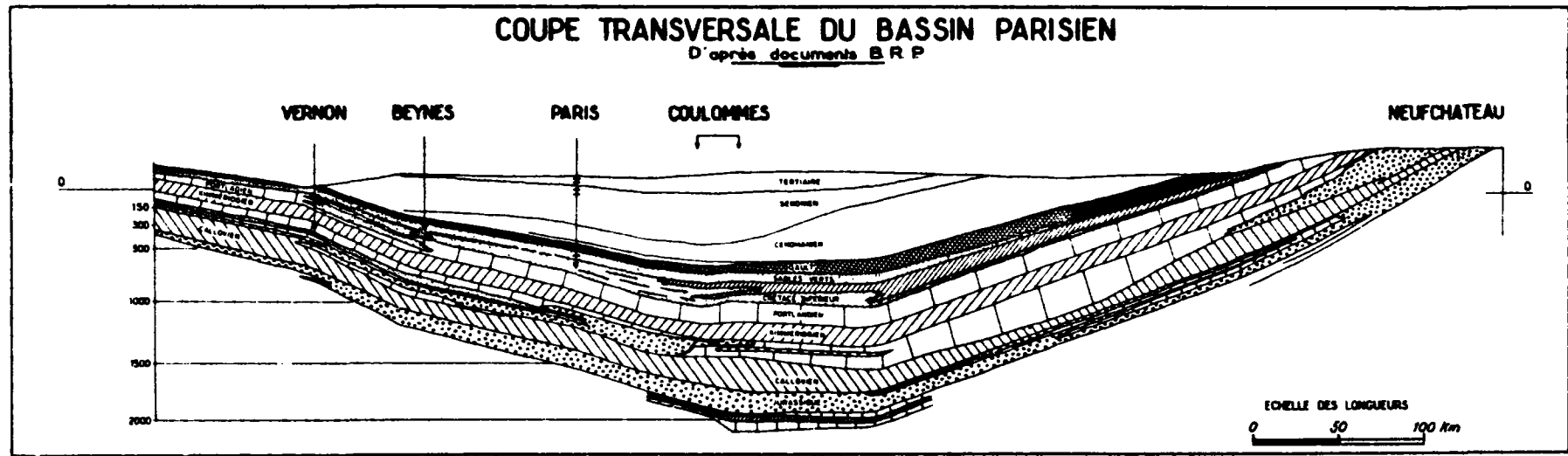


Fig. 1

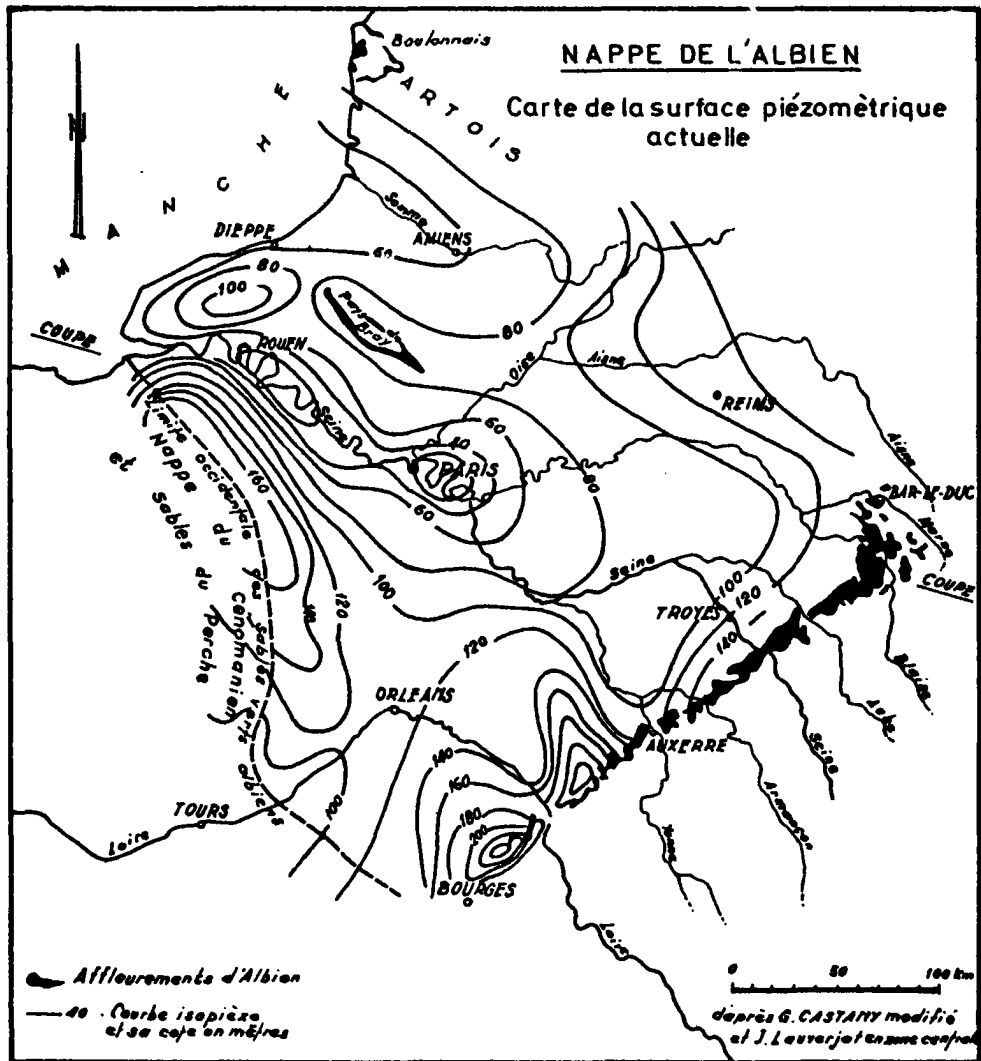


Fig.2

On a pu faire deux hypothèses pour expliquer le mécanisme d'alimentation et d'écoulement dans l'aquifère albien. On admit très longtemps que l'alimentation ne pouvait se faire que par les affleurements des sables albiens à la périphérie (1). Actuellement, on estime que l'essentiel de l'alimentation est assuré, depuis la nappe libre de la craie, à travers l'argile du Gault (2), (5), (7).

1.3. Conditions d'utilisation de la méthode du Carbone 14 et analyses chimiques

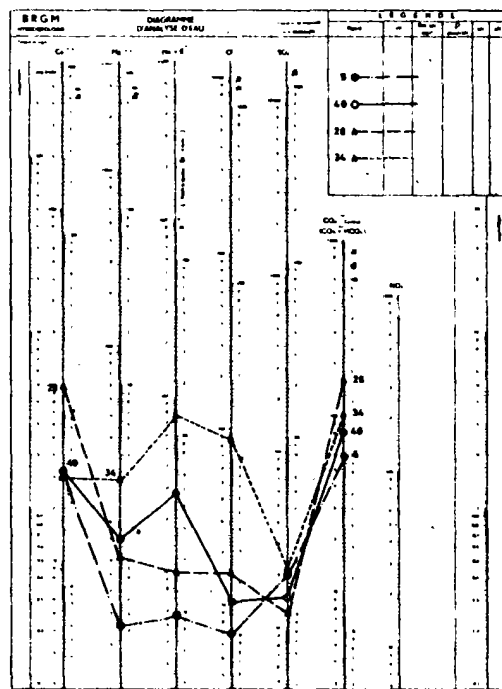
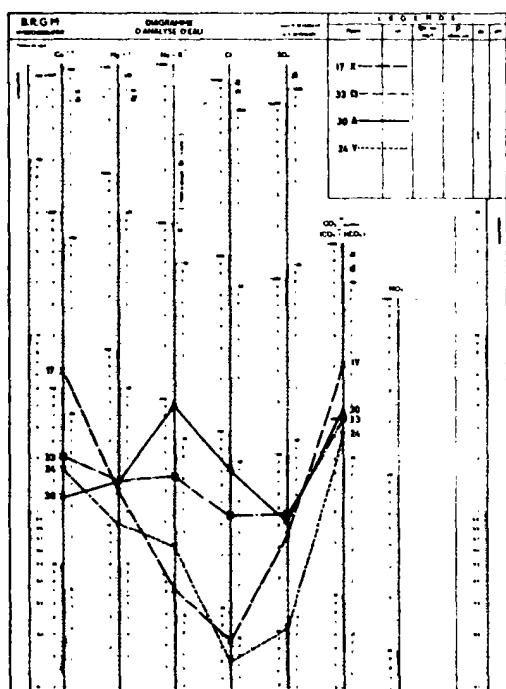
Les vastes dimensions du réservoir et sa bonne individualité permettaient de supposer que l'on pourrait détecter des différences de radioactivité C 14 importantes confirmant l'interprétation hydrogéologique.

Mais les différences de radioactivité ne peuvent être significatives que si les analyses chimiques ne révèlent pas de perturbations considérables de la teneur en HCO_3^- (8). Il en est bien ainsi dans l'aquifère étudié.

Le diagramme de PIPER (fig. 3) montre que les compositions chimiques d'une centaine d'eaux analysées se regroupent en deux pôles : l'un bicarbonaté calcique correspondant aux zones d'alimentation, l'autre, bicarbonaté sodique, correspondant aux exutoires.

On observe aussi sur les diagrammes logarithmiques de quelques analyses chimiques caractéristiques (fig. 3) qu'il existe dans la zone centrale (analyse n° 40) un déséquilibre entre chlorures et alcalins ; ceci pourrait traduire des échanges entre le sodium des argiles et le calcium des eaux de la nappe, notamment pendant le transfert vertical en zone d'alimentation. Mais il est connu (9) que les cations surtout sont sensibles à cette influence des argiles, les anions l'étant beaucoup moins, en particulier l'anion bicarbonique (10). De fait on n'observe qu'une faible diminution de teneur en HCO_3^- des eaux de la région parisienne par rapport à celle des eaux de la périphérie du bassin.

Enfin, les eaux sont en général neutres ou légèrement agressives et non pas incrustantes ce qui indique qu'une éventuelle dissolution de HCO_3^- ancien, qui entraînerait une diminution du rapport C 14/C 12, ne peut être que très faible.



- Région de l'Yonne S.E
- ▼ Région du Cher S.E
- × Région de la Marne et Haute Marne Est
- ▲ Région de la Normandie W et S.W
- ◻ Région de la Normandie W et N.W
- Région centrale vallée de la Seine
- 33 Numéro d'ouvrage (cf tableau)
- 21 Nappe autre que l'Ables

PRINCIPAUX FACIES CHIMIQUES RENCONTRES

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU
D'APRES PIPER (U.S. Geological Survey)

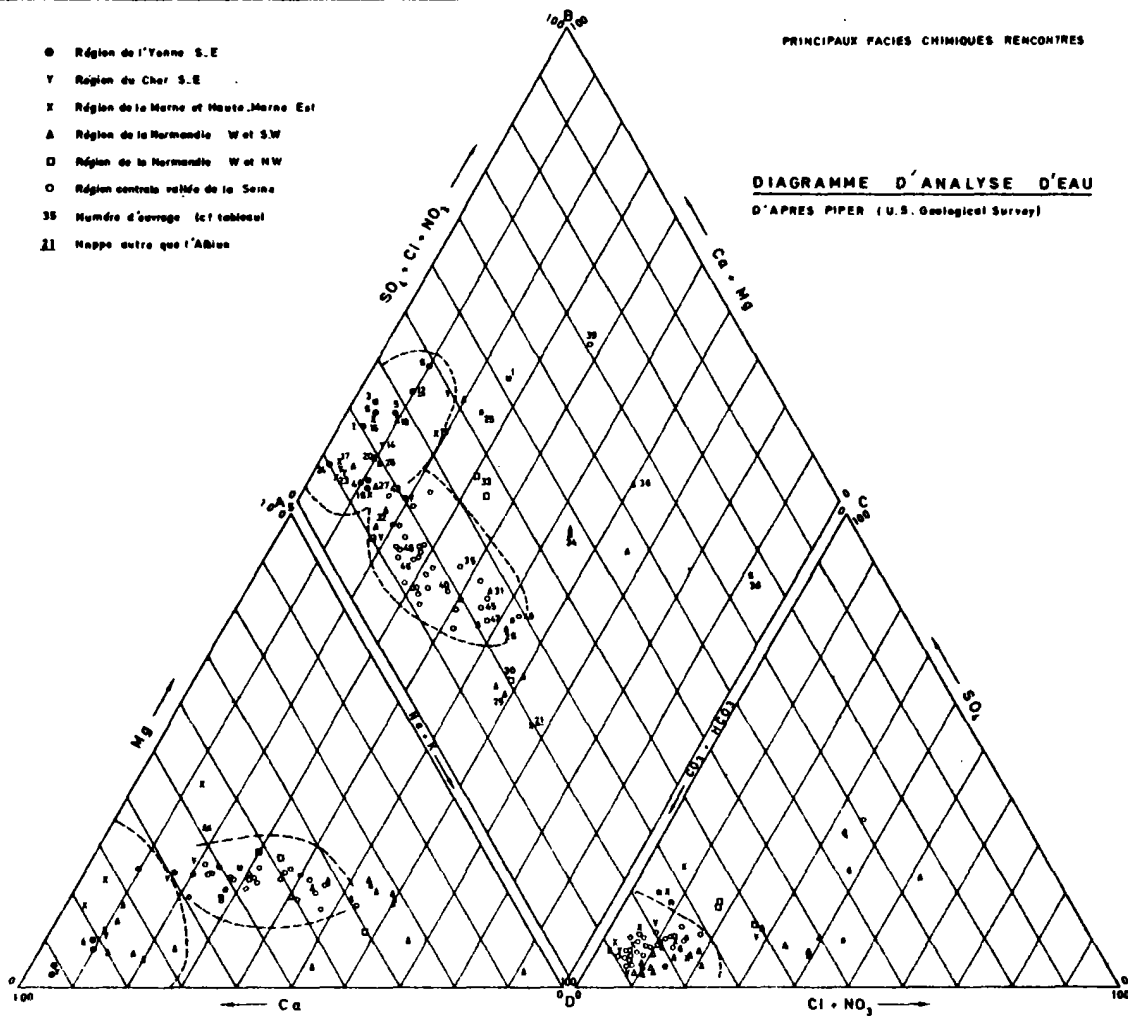


Fig.3

La nature essentiellement siliceuse du réservoir permettait d'espérer de tels résultats favorables à l'application de la méthode du C 14.

2. METHODOLOGIE DES MESURES

2.1. Les puits

Les ouvrages sur lesquels ont eu lieu les prélèvements d'échantillons ont été choisis en fonction de leur disposition dans le bassin. Ayant admis au début des recherches que l'alimentation de la nappe se faisait par les affleurements de bordure, on a tout d'abord choisi un axe est-ouest parallèle aux vallées de la Seine et de l'Yonne, recherchant une décroissance régulière de l'activité vers les exutoires dans la Manche . Les résultats obtenus ne correspondant pas à ceux attendus, on a fait une deuxième série de prélèvements en élargissant le cercle des investigations. Malheureusement, la répartition des points existants n'a pas permis, le plus souvent, de tester les régions intermédiaires comprises entre les grandes vallées et les zones d'alimentation de la périphérie.

2.2. Les prélèvements

On est assuré que les échantillons recueillis dans les ouvrages récents représentent bien les eaux de la nappe de l'Albien ; par contre, ceux provenant d'ouvrages anciens peuvent résulter d'un mélange avec des eaux d'autres nappes par suite du mauvais état des tubages. C'est vraisemblablement le cas du forage d'Epinais (n° 39) qui montre une activité C 14 relativement forte et un faciès chimique différent de celui des forages voisins.

Les conditions hydrologiques des différents ouvrages sont variables : certains sont en écoulement libre depuis 20 à 150 ans, d'autres sont exploités par pompage intensif, d'autres enfin ne sont sollicités que rarement chaque année.

2.3. Traitements des eaux prélevées

Plusieurs procédés ont été utilisés pour l'extraction du bicarbonate et du CO_2 libre des eaux prélevées. Certaines préparations furent faites sur le lieu même du pompage, d'autres ont été effectuées au laboratoire du B.R.G.M., d'autres enfin au laboratoire de radiocarbone.

Pour les premiers prélèvements, l'eau, après décantation et filtration en laboratoire, était acidifiée et le CO_2 obtenu, fixé par passage dans une ligne de flacons bulleurs remplis de baryte hydratée. Le précipité était alors filtré et lavé. Mais ce procédé fut abandonné en raison des dangers de pollution par le CO_2 de l'air.

Le mode de traitement le plus utilisé est le système de la cuve. Cet appareil antérieurement décrit permet d'extraire le carbonate directement sur le terrain, par précipitation dans un flacon plastique amovible, grâce à une solution de Na OH et Ba Cl_2 . Pour certains échantillons le précipité ainsi obtenu était ensuite lavé et séché. Mais, par la suite, afin d'éviter tout contact de la solution sodique et du précipité avec l'air, le flacon amovible de la cuve fut expédié directement au laboratoire de radiocarbone où, par acidification, le CO_2 était dégagé dans le banc de préparation des gaz de comptage.

Dans quelques cas particuliers, par exemple pour les eaux très peu actives du centre du bassin pour lesquelles même une très faible pollution eut été sensible, les 50 ou 100 litres d'eau ont été traités au laboratoire de $\text{C} 14$ sans passage par la cuve : après décantation et addition de HC l pur, le CO_2 est entraîné par un courant d'azote et capté dans une trappe à air liquide. Ce dernier procédé, bien évidemment le plus sûr, n'a pu être utilisé dans tous les cas, en raison du coût des transports.

2.4. Traitement et comptage au Laboratoire de radiocarbone

Une fois le CO_2 introduit dans le banc de chimie, le traitement du gaz de comptage se limite à une purification par passage sur du Cu et du Cu O chauffés entre 400 et 500 °.

Le CO_2 est alors introduit dans un compteur proportionnel et son taux de radioactivité est déterminé par deux comptages de 20 heures. Le détail de l'appareillage a déjà été décrit (11).

Lorsque la quantité de CO_2 obtenue à partir de l'eau est trop faible il faut ajouter un volume parfois considérable (jusqu'à 60 %) de CO_2 inactif. Cela entraîne alors une importante diminution de la précision des mesures.

3. PRESENTATION DES RESULTATS

Dans le tableau I sont présentés tous les résultats obtenus à partir des prélèvements effectués dans les puits et les sources. Ils sont regroupés par secteurs géographiques.

Certains puits ont été l'objet de plusieurs prélèvements à une ou deux années d'intervalle afin de détecter d'éventuelles variations dues aux pompages. Quelques mesures se rapportent aux niveaux aquifères inférieurs ou supérieurs à l'Albien. Ils sont donnés à titre comparatif.

Aucune correction des valeurs de C 14 n'a été faite en fonction des $\delta\text{C} 13$; les $\delta\text{C} 13$ ont été mesurés par le laboratoire de Géologie dynamique de la Sorbonne (R. LETOLLE) et les valeurs de Tritium par le laboratoire du Service isotopes et génie civil du département Géotechnique du B.R.G.M. (A. MARCE) * .

La figure 4 montre la répartition géographique des prélèvements. Les courbes d'isradioactivité ont été tracées en joignant les points présentant approximativement une décroissance radioactive d'un même nombre de périodes de radiocarbone (courbes 1 T, 2 T, etc...). Cette représentation, choisie de préférence à un tracé de courbes traduisant des différences égales de pourcentage (par exemple de 10 en 10 %), a l'avantage de mettre en évidence des différences d'activité correspondant à des intervalles de temps égaux.

* Nous exprimons ici notre reconnaissance à MM. LETOLLE et MARCE pour tous les résultats de mesure qu'ils nous ont fournis).

TABLEAU I

PRELEVEMENTS						RESULTATS					
n° cartes	Lieu	Nappe	Ouvrage	Niveau capté	Date	Agres- sivité	HCO ₃ ⁻ me/l	T3 UT	δ C 13 ‰/PDB 10,20	C 14 % standard moderne ± 1σ	n° LY
1*	2	3*	4*	5*	6	7*	8	9	10	11	12*
<u>REGION SUD-EST</u>											
1	Parly-Chenons	L	P	S ₁	10/66	A	0,3	77 ± 8		94,7 ± 0,7	LY 21
2	Parly-Berniers	L	S	S ₁	10/66	A	3,1	27 ± 5		86,7 ± 0,7	32
3	Poilly	L	S	S ₂	10/66	N	5,1	9 ± 3		91,7 ± 1,0	22
4	Dracy	C	F	S ₁	7/69	A	2,4	10 ± 3		66,7 ± 1,0	286
5	Chichery	C	F	S ₁ , S ₂	7/69	A	2,4	bdf	- 13,0	58,0 ± 1,1	208
	Chichery	C	F	S ₁ , S ₂	4/66	A		bdf	- 17,7	53,2 ± 1,8	213
6	Migennes	C	F	S ₁	10/67		4,0	bdf		46,6 ± 1,0	85
	Migennes	C	F	S ₁	7/69		3,8	21 ± 4		67,3 ± 0,9	210
7	Neuilly	C	A	S ₁	3/69			bdf	- 14,97	15,9 ± 0,6	186
8	Fleury	C	A	S ₃	11/67	N	2,8	bdf		14,9 ± 0,7	109
9	Champvallon	C	A	S ₁	3/69	i		bdf	- 12,81	13,6 ± 0,7	187
+10	Grand-Chaumont	L	P	C _c	7/69	i	4,7	21 ± 4		95,6 ± 1,1	225
+11	Froville	L	P	T	7/69	i	6	45 ± 5		72,5 ± 0,9	227
+12	Appoigny	C	A	Ba	3/69	i	3,6	bdf	- 18,29	0,6 ± 0,4	188
	Appoigny	C	A	Ba	10/67	i		bdf		11,6 ± 0,8	67
13	Grande Paroisse	C	A	S	7/69	N	2,8	bdf		3,2 ± 0,5	228
14	Montbouy	C	A	S ₁	10/67	A	2,4	bdf		28,9 ± 0,5	108
<u>REGION EST</u>											
15	Nuisement	L	F	S	6/69	N	5,3	77 ± 8		84,3 ± 1,1	219
16	Humbecourt	L	F	S + Ap	6/69	N	4,8	208 ± 16		76,9 ± 0,8	218
17	Chaudefontaine	C	F	S + Cz	6/69	N	6,8	10 ± 3		74,8 ± 0,9	222
18	Voillecomte	L	P	S + Ap	6/69	A	2,2	bdf		66,3 ± 1,0	220
19	Montier-en-Der	C	F	S + Ap	6/69	N	5,6	37 ± 5		52,8 ± 0,8	217
20	Dompremy	C	A	S	6/69	N	5,2	bdf	- 9,0	17,9 ± 0,9	216
+ 21	Ste Ménéhoulde	C	A	S + J	6/69	A	4,8	bdf		1,4 ± 0,4	221

TABLEAU I (suite)

PRELEVEMENTS						RESULTATS					
n° cartes	Lieu	Nappe	Ouvrage	Niveau capté	Date	Agres-sivité	HCO ₃ ⁻ me/l	T 3 UT	δ C 13 ‰/PDB10,20	C 14 % standard moderne ± 1σ	n° LY
1*	2	3*	4*	5*	6	7*	8	9	10	11	12*
<u>REGION SUD</u>											
22	Barlieu	C	F	S + C _S	10/67		4,7	bdf		82,1 ± 1,3	LY 71
23	Blancafort	C	F	S + C _S	10/67	A	3,9	bdf		42,2 ± 1,2	74
24	Chapelle Angilon	C	F	C _S	11/67	A	4,1	bdf		34,2 ± 0,9	111
<u>REGION OUEST</u>											
25	Bemecourt	C	F	Ra	5/69	A	2,8	26 ± 4	- 13,17	75,5 ± 1,0	205
26	Thiberville	C	F	S ₁ - K	5/69	A	5,2	28 ± 4	- 13,0	65,3 ± 0,8	204
27	Brou	C	F	S	5/69	A	3,6	6 ± 3	- 9,0	52,0 ± 0,8	206
28	Chateaudun	C	A	S	6/69	N	4,9		- 5,7	40,9 ± 0,8	207
<u>REGION NORD-OUEST</u>											
29	Gauciel	C	F	S ₁	7/68	N	4,1		- 9,85	37,5 ± 0,8	146
30	Marais-Vernier	C	P	S ₁	7/68		4,4	bdf	- 14,25	36,9 ± 0,9	141
31	Vernon	C	A	S ₁ , S ₂	7/68	N	3,2		- 8,25	21,7 ± 0,6	147
32	Les Loges	C	F	S. C _c	8/68	N	4,9		- 9,6	15,9 ± 0,4	144
33	St Pierre-en-Port	C	A	S ₁	8/68		3,3		- 11,4	16,0 ± 2,0	143
34	Le Trait	C	A	S ₁	7/68	A	3,4		- 10,9	12,4 ± 0,7	145
35	Mantes	C	A	S ₁	3/66	N	3,0			11,8 ± 1,4	215
36	Pont de l'Arche	C	A	S ₁	11/67	A	4,1	bdf		7,2 ± 0,7	110
+37	Honfleur	L	S	C _S	7/68	A	5,8	12 ± 3	- 13,31	78,6 ± 1,4	181
+38	Incarville	C	A	C.S.J.	5/69	N	7,5		+ 2,9	1,4 ± 0,4	203

TABLEAU 1 (suite)

PRELEVEMENTS						RESULTATS					
n° cartes	Lieu	Nappe	Ouvrage	Niveau capté	Date	Agres-sivité	HCO ₃ ⁻ me/l	T3 UT	δ C 13 ‰/PDB 10,20	C 14 % standard moderne ± 1σ	n° LY
1 *	2	3 *	4 *	5 *	6	7 *	8	9	10	11	12 *
<u>REGION CENTRE</u>											
39	Epinay	C	A	S	3/68	N	3,4		- 13,19	9,7 ± 1,4	LY 121
40	Villeneuve	C	F	S ₁ , S ₂	6/67	A	2,7	bdf		9,1 ± 0,5	40
41	Achères	C	F	S ₁ , S ₂ , S ₃	3/68	A	2,9		- 16,30	8,9 ± 0,2	124
42	Ivry	C	F	S ₁ , S ₂	1/68	A	3,2		- 13,26	8,5 ± 0,1	119
43	Orsay	C	F	S ₁ , S ₂ , S ₃	1/68	A	3,5		- 10,65	7,8 ± 0,8	120
44	Le Pecq	C	F	S ₁	3/68	A	2,6		- 14,30	7,3 ± 1,3	126
45	Pantin	C	F	S ₁ , S ₂ , S ₃ Ba	12/66	N	2,6		- 15,25	6,4 ± 0,1	37
46	Issy	C	F	S	7/69	A	2,5	bdf	- 15,0	3,7 ± 0,4	211
47	Noisy le Grand	C	A	S	3/68	N	3,1		- 14,1	3,5 ± 0,5	122
	Noisy le Grand	C	A	S	8/69	N	3,1			3,7 ± 0,4	224/249
48	Paris O.R.T.F.	C	F	S	2/67	A	2,6		- 12,2	3,2 ± 0,5	214
49	Aulnay sous bois	C	F	S	3/68	A	2,9		- 16,38	2,7 ± 0,1	123
	Aulnay sous bois	C	F	S	7/69	A	2,9	bdf	- 9,5	1,0 ± 0,4	212
	Aulnay sous bois	C	F	S	10/69	A	2,9			2,6 ± 0,3	247/250
50	Viry Chatillon	C	A	S ₁ , S ₂	8/69	A	3,1			2,1 ± 0,5	223/248

LEGENDE

- * Colonne 1 + = Niveaux inférieurs ou supérieurs à l'aquifère Albien
- * Colonne 3 L = Nappe libre ; C = Nappe captive
- * Colonne 4 F = Forage ; A = Artésianisme ; P = Puits ; S = Source d'affleurement
- * Colonne 5 Ba = Barrémien ; T = Turonien ; J = Jurassique ; Ra = Rauracien ; K = Kimméridgien ; C_C = Cénomanién Craie
A_p = Aptien ; S = Albien ; S₁ = Albien supérieur ; C_{CR} Cénomanién Gèze ; C_S = Cénomanién Sable
S₂ = Albien moyen ; S₃ = Albien inférieur
- * Colonne 7 i = incrustant ; A = Agressif ; N = Neutre
- * Colonne 12 numéro du laboratoire

Aquifère de l'albien du bassin de Paris :
 Courbes schématiques d'isradioactivité C₁₄

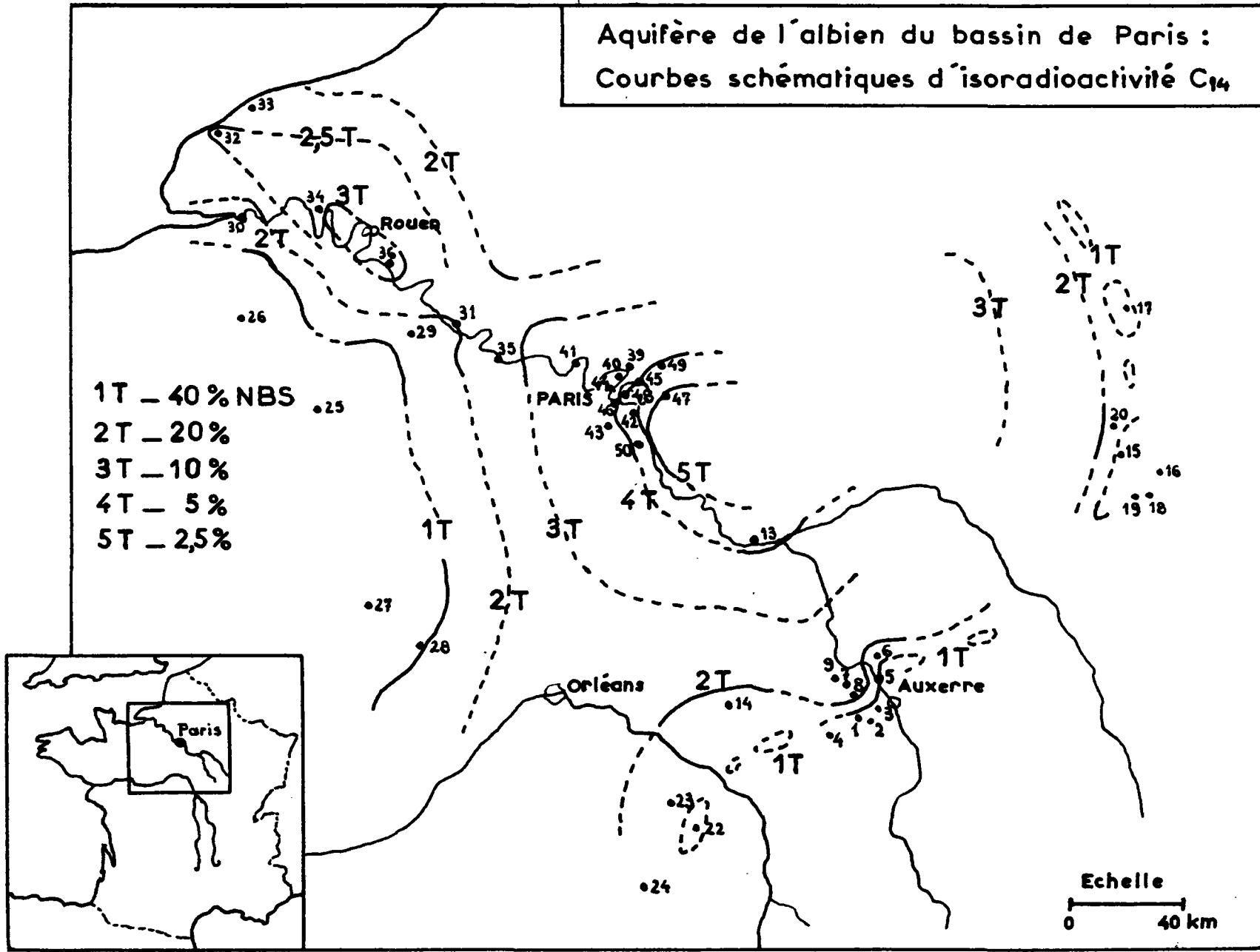


Fig. 4

L'activité à l'origine (courbe OT) a été prise de 80 % du standard moderne. Cette valeur semble la plus probable dans cette région si l'on examine les activités des eaux actuelles ou sub-actuelles de France (11) ou de l'Europe du Nord. Mais il a toutefois été constaté que des valeurs plus basses sont également possibles. Si on choisissait une activité à l'origine un peu différente (70 % par exemple) cela entraînerait seulement un décalage des courbes parallèlement à elles-mêmes, décalage qui serait faible à partir de la courbe 2 T. De toute façon, cela ne modifierait pas l'orientation générale du tracé et les conclusions hydrologiques qui en sont déduites. Pour cette raison, il n'a pas été jugé utile de transformer les activités C 14 en âges absolus.

4. INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE

4.1. Ensemble du bassin

La figure 4 montre, par les fortes activités des zones périphériques du bassin, l'existence d'une alimentation actuelle non seulement dans l'Est et le Sud-Est près des zones d'affleurement, mais aussi au Sud et à l'Ouest où l'Albien n'affleure pas. On constate en effet des valeurs de 60 à 70 % NBS au Sud-Ouest et dans certains points du Sud-Est. De ces points hauts, l'eau chemine dans l'aquifère vers des exutoires qui sont localisés autour de Rouen et Paris, avec un point haut relatif entre ces zones ; on retrouve ici l'image de la surface piézométrique (fig. 2) et notamment les exutoires naturels (zone d'affleurement de Rouen sous les alluvions de la Seine et à l'embouchure de ce fleuve) et l'exutoire de la région parisienne.

Les activités observées autour de Paris sont plus faibles que celles de la région de Rouen. On peut penser que, à Rouen, se manifeste l'influence des zones d'alimentation proches, ou que, à Paris, les pompages intensifs ont notablement modifié les écoulements ; ici, dans l'aquifère albien, il y aurait appel à des eaux provenant des zones à plus faible taux de renouvellement (au Nord-Est de Paris) ou bien des eaux, relativement plus vieilles, provenant de nappes plus profondes.

4.2. Etudes régionales de l'alimentation à la périphérie

- Zones est et sud-est

Une coupe schématique de la région sud-est (fig. 5) montre le mécanisme de l'alimentation de la nappe à sa périphérie ; les points de prélèvement dans cette région sont situés sur la figure 6.

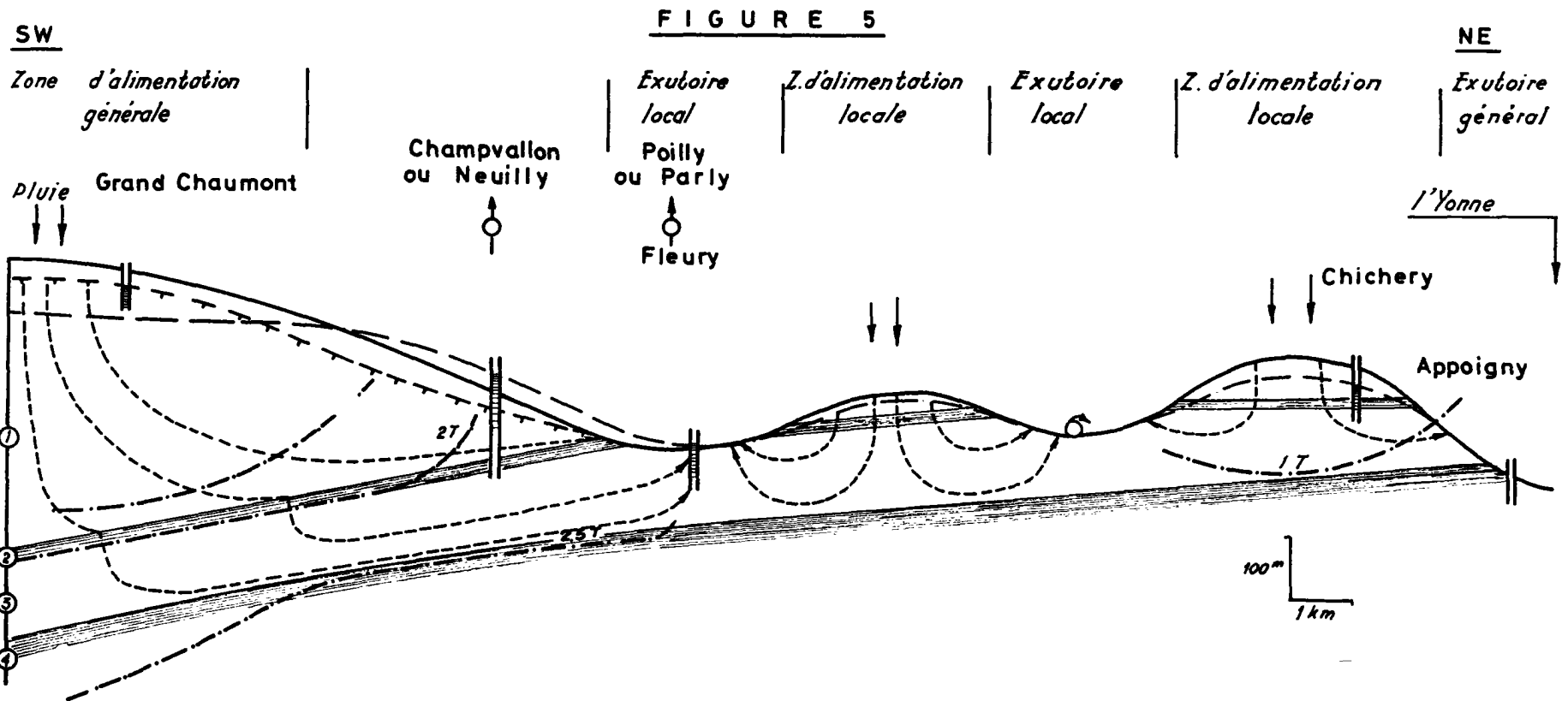
Sur ce schéma interprétatif, on reconnaît :

- le tracé de la surface piézométrique de la nappe des sables albiens, modelé sur celui de la nappe libre de la Craie située immédiatement au-dessus,
- les lignes d'écoulement des filets liquides dans les terrains entre les dômes piézométriques et les exutoires des nappes,
- les lignes d'égale période C 14 que l'on devrait observer si les ouvrages étaient convenablement disposés pour cela,
- la situation de quelques uns des ouvrages sur lesquels les prélèvements ont été effectués.

Le réseau d'observation disponible n'a pas permis de mesurer les activités tout au long d'un même filet liquide. Toutefois, il semble, en examinant la situation de chacun des puits et les radioactivités obtenues que l'on puisse reconnaître les différentes zones d'alimentation et d'exutoire et le sens des écoulements.

Un point tel que Chichery (activité 55 % N.B.S.) se trouve dans une zone d'alimentation. Son activité indique qu'il faut ici une durée de 1/2 période C 14 environ, pour que l'eau puisse descendre verticalement à travers le toit peu perméable de la nappe captive avant qu'elle n'atteigne celle-ci.

Les points tels que Neuilly et Champvallon sont proches d'une zone d'alimentation. Leur activité plus basse (15 % N.B.S.) implique un temps de transfert vertical plus long à travers les terrains supérieurs, ici plus épais. En ces points, il y a aussi écoulement dans le plan de l'aquifère, mais il est très court en raison de la proximité d'un exutoire local.



SCHEMA INTERPRETATIF D'APRES LES DONNEES REGIONALES

- Surface piézométrique de la nappe libre de la craie.
- Surface piézométrique de la nappe de l'Albién
- Ligne d'écoulement.
- .-.- Ligne d'égale période C.14 des filets liquides dans les aquifères.

- ① Craie.
- ② Marnes et argiles du Gault.
- ③ Sables de l'Albién.
- ④ Sables et argiles du Barrémien

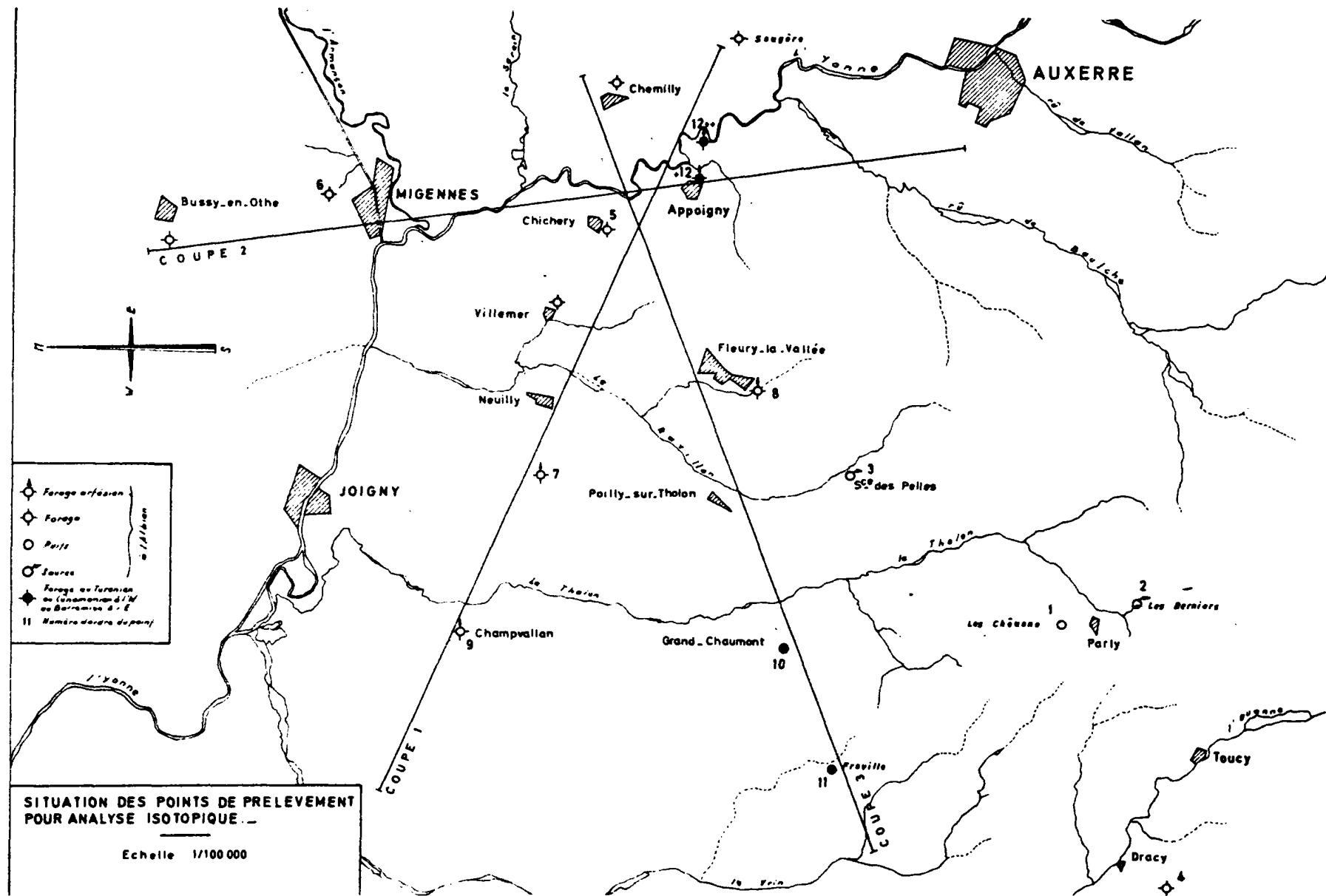


Fig. 6

Le forage de Fleury (15 %) est , lui, franchement dans une zone d'exutoire et les eaux y sont ascendantes .

A Parly et Poilly, les activités avoisinent les 90 % N.B.S. Mais ces points, situés sur les affleurements albiens, sont en position hydrologique particulière. Ils sont situés dans la partie libre de la nappe de l'Albien. Les radioactivités traduisent les influences récentes des bombes thermonucléaires aussi bien en tritium qu'en radiocarbone. Les eaux en ces points peuvent résulter du mélange des eaux de pluie, tombées sur les sables affleurants, avec les eaux ascendantes de la nappe captive ; ces dernières ayant accompli un long trajet sont des eaux anciennes. Mais, comme le rapport des volumes est fonction des débits, liés aux perméabilités des terrains, l'influence ancienne n'a pu être retrouvée sur les sources ou les puits peu profonds de la nappe libre, alors qu'elle est observée dans presque toute son ampleur dans le niveau captif des sables à Fleury (n° 8).

Il est intéressant de comparer ces résultats avec ceux obtenus sur des eaux provenant des niveaux supérieurs ou inférieurs à l'Albien. La nappe libre de la Craie (n° 10 et 11) fournit des activités élevées tandis que la nappe captive du Barrémien (n° 12) située sous l'Albien, a des eaux de très basse activité.

Il faut enfin signaler le cas du forage de Migennes (n° 6) dont la situation montre qu'il fait appel à de l'eau ancienne (prélèvement du 10/67) sauf dans le cas où les pompages sont suffisamment importants, en été, pour renverser le gradient hydraulique et appeler l'eau des nappes alluviales de l'Armançon et de l'Yonne (prélèvement du 7/69) ; dans ce second cas, on note la présence de tritium prouvant l'apport d'eaux actuelles.

- Zone ouest

Les fortes activités observées dans cette zone indiquent que les eaux sont récentes et même quasi actuelles à Bémécourt (75,5 %), bien que les terrains albiens n'affleurent pas. Mais il existe, dans cette région (fig. 2), un "dôme" piézométrique dans la nappe captive, auquel se superpose un autre point haut piézométrique dans la nappe libre. L'alimentation serait ici plus rapide que dans la zone sud-est, les perméabilités étant plus fortes à l'Ouest.

Ainsi, pour l'ensemble de la périphérie, on peut conclure que l'alimentation de la nappe de l'Albien est essentiellement indépendante des affleurements des sables albiens et qu'elle se fait principalement à partir de la nappe libre sus-jacente (craie) à travers les couches peu perméables du toit de la formation.

4.3. Vitesse d'écoulement

Avant d'évaluer, même approximativement, la vitesse d'écoulement de l'eau d'une nappe à partir des différences de radioactivité observées entre plusieurs points, il importe d'analyser brièvement la signification hydraulique d'un tel calcul.

En effet, le pompage par un puits dans un aquifère recueille un volume d'eau, résultant du mélange de plusieurs filets liquides à durée de transfert d'autant plus variable que la hauteur de la crépine est plus grande et que la perméabilité est plus faible. La part de chacun d'entre eux est difficilement déterminable. Donner une vitesse d'écoulement entre deux points implique d'autre part que l'on suppose un déplacement uniforme de toute l'eau (c'est-à-dire une conservation du débit) entre ces deux points et que l'on parle de vitesse apparente.

Avec cette dernière hypothèse, on constate, entre Thiberville (n° 26) et la région de Rouen, une différence de 3,5 périodes C 14 pour une distance de 60 km, soit une vitesse apparente d'environ 3 m/an. Du même point (n° 26) à Vernon (n° 31) la vitesse apparente serait de 5 m/an. Enfin des environs d'Auxerre à Paris l'ordre de grandeur est aussi de 5 m/an. On retrouve à peu près les mêmes valeurs quelle que soit la région du bassin considéré, d'où l'espacement régulier des courbes d'isoradioactivité.

Les évaluations de vitesse effective (*) d'écoulement à partir de la formule de DARCY, impliquant un régime permanent (12), fournissent des valeurs allant de 3 m/an (2) à 10 m/an (4).

Ainsi les valeurs obtenues par la méthode du radiocarbone sont comparables ou inférieures à celles données par la formule de DARCY. Ceci est en accord avec les observations récentes (13).

* au sens de H. SCHOELLER

5. CONCLUSIONS

5.1. Enseignements retirés relatifs à la nappe de l'Albien

Les résultats hydrogéologiques, auxquels conduisent les analyses de C 14 des eaux de la nappe de l'Albien du bassin de Paris, montrent que cet isotope peut être utilisé même si l'on ne connaît pas la valeur précise de la teneur à l'origine de l'eau alimentant la nappe et s'il n'est fait aucun calcul d'âge absolu, à la condition de disposer d'un nombre suffisant de mesures.

Ils confirment que la nappe n'est pas "fossile" (si on entend par là qu'elle ne serait pas alimentée) mais se réalimente actuellement en différentes zones de la périphérie du bassin. L'étude plus détaillée a montré, en accord avec les données piézométriques, que le mécanisme d'alimentation ne dépend pas de la présence d'affleurements de la couche aquifère et peut se faire à travers sa couverture argileuse. Les différences d'activité qui en résultent sont compatibles avec la sensibilité de la méthode du C 14.

Enfin, les courbes d'isoradioactivité mettent en évidence deux exutoires autour de Rouen et de Paris ; si les écoulements étaient modifiés par les pompages intensifs, seule une surveillance périodique permettrait d'en suivre l'évolution.

5.2. Conclusion méthodologique

Cette tentative était délicate car le plus souvent le marqueur, l'élément de repérage, utilisé, n'était pas incorporé à la molécule d'eau elle-même mais un sel dissous l'accompagnait, susceptible donc d'avoir un comportement différent, à la faveur de réactions de précipitation, de mise en solution ou d'échange différentiel entre phase solide et liquide venant perturber les rapports C 14/C 12 ou C 13/C 12 considérés. Un autre point délicat concernait l'indétermination de la teneur à l'origine lors de l'infiltration des eaux prélevées actuellement en pleine nappe, ainsi que l'imprécision sur les trajets parcourus par les filets liquides.

Pour ces différentes raisons, comme nous l'avons expliqué dans le texte, il n'a pas été indiqué d'âge pour les activités mesurées ; un ordre de grandeur des durées a toutefois été fourni en traçant des courbes

d'égale période de C 14 , ce qui permettait par ailleurs de donner une idée générale des directions d'écoulements.

Enfin, il a été possible d'étudier plus finement l'infiltration dans une zone de bordure où le réseau d'observation était plus dense, et de préciser comment se fait l'alimentation de la nappe. Pour la région considérée, l'hypothèse selon laquelle l'essentiel de l'alimentation se fait par les affleurements a été infirmée.

5.3. Conclusions sur le mode d'utilisation des techniques isotopiques et leur intérêt en hydrogéologie

Les méthodes de "datation" sont des techniques élaborées utilisables en hydrogéologie à un stade avancé de connaissance des aquifères ; elles exigent la mise en fonction de moyens onéreux surtout au laboratoire. La demande en analyses existe mais elle se développera d'autant plus que les hydrogéologues auront connaissance des possibilités des méthodes isotopiques. Sur le plan de leur application en hydrogéologie ces techniques devraient fournir des renseignements précieux en zone aride, où la question de savoir s'il existe ou non actuellement une alimentation est primordiale (c'est un cas semblable que nous étudions au Sénégal). En région tempérée enfin ces techniques peuvent indiquer s'il y a mélange ou pollution entre les eaux d'aquifères superposés (nous étudions un cas semblable dans le Nord).

Dans ces deux cas-types les évolutions d'activités dans le temps, en fonction de la pluviométrie ou des prélèvements, sont intéressantes à suivre.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- (1) LEMOINE P., HUMERY R., SOYER R. (1939)
Les forages profonds du Bassin de Paris. La nappe des sables verts.
Mém. Muséum Hist. Nat. 11 Paris
- (2) CASTANY G. (1960)
Quelques aspects nouveaux de l'hydrogéologie du bassin parisien.
C.R. annuel Comité Fr. Géod. Géoph.
- (3) SARROCHI C., LEVY-LAMBERT H. (1967)
La nappe aquifère de l'Albien dans le Bassin de Paris.
B.R.G.M. Chron. Hydrogéol. 11 33
- (4) LAUVERJAT J. (1967).
Hydrogéologie de l'Albien dans le centre du Bassin de Paris.
B.R.G.M. Chron. Hydrogéol. 11 57
- (5) PANETIER J.M. (1968)
Processus d'alimentation de la nappe des sables albiens en Puisaye.
Note aux journées SCHOELLER - Congrès national d'hydrogéologie
Bordeaux 1969 - B.R.G.M. Mém. n° 76, 1969
- (6) ALBINET M., COTTEZ S. (1967)
Carte hydrogéologique du Bassin de Paris au 1/500 000.
B.R.G.M.
- (7) MARGAT J. (1967)
Remarques sur la signification des surfaces piézométriques des nappes captives.
B.R.G.M. Chron. Hydrogéol. 12 13
- (8) MUNNICH K.O., ROETHER W., THILO L. (1966)
Dating of groundwater with tritium and ^{14}C .
Isot. in hydrol. Vienna 305

- (9) SCHOELLER H. (1962)
Les eaux souterraines .
Masson Paris
- (10) LONG.G. , NEGLIA S. (1968)
Composition de l'eau intersticielle des argiles et diagénèse
des minéraux argileux.
Rev. Inst. Fr. Pétrole 1 53
- (11) EVIN J. , LONGIN R. , PACHIAUDI C. (1969)
Lyon natural Radiocarbon measurements I Radiocarbon
11 n° 1 - 112
- (12) MARGAT J. (1965)
Age des eaux souterraines et renouvellements des réserves des
nappes. Réflexion sur les bases de l'hydrochronologie.
Mém. Ass. Internat. Hydrogéol. Congrès Hanovre 58
- (13) VOGEL J.C. (1966)
Investigation of groundwater flow with radiocarbon.
Isot. in Hydrol. Vienna 355