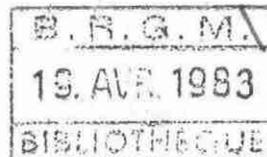




BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01



LA GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE DANS LE MONDE

Département Géothermie

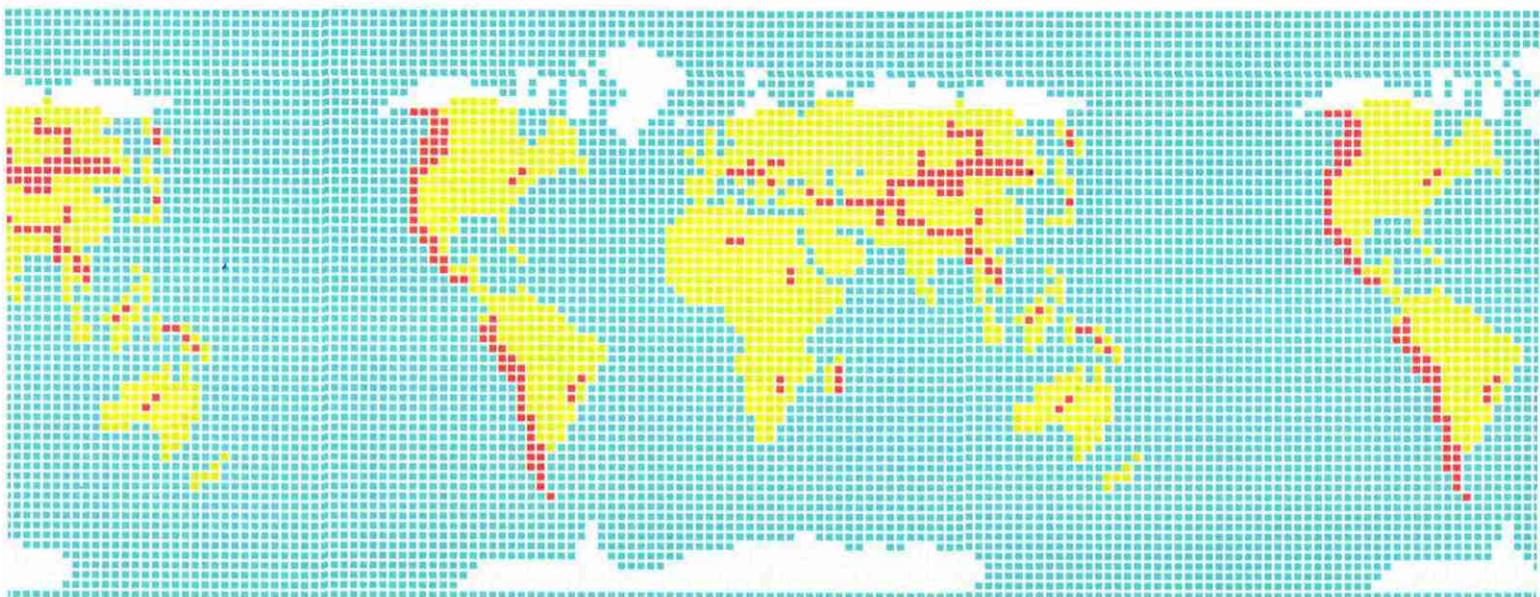
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél. (38) 63.80.01



Rapport du B.R.G.M.

82 SGN 927 GTH

Mars 1983

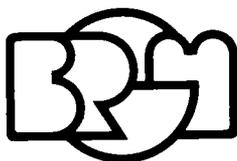


BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01

LA GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE DANS LE MONDE



Département géothermie

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01

Rapport du B.R.G.M.

82 SGN 927 GTH

Mars 1983

S O M M A I R E

INTRODUCTION.....	1
I - LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE EN ISLANDE, HONGRIE, URSS, ETATS-UNIS.....	2
I.1. - L'Islande.....	2
I.2. - La Hongrie.....	9
I.3. - L'URSS.....	17
I.4. - Les Etats-Unis.....	25
II - LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE EN EUROPE ET AUTRES PAYS.....	32
II.1. - La C.E.E.....	32
II.2. - Autres pays.....	34

INTRODUCTION

En raison des réalisations géothermiques basse énergie nombreuses en Islande, en Hongrie, en U.R.S.S. et aux Etats-Unis, ces quatre pays ont été plus particulièrement étudiés dans la première partie du texte qui suit. La deuxième partie comprend une rapide étude de la situation des pays européens ainsi que de quelques autres (Chine, Japon,...), qui comprennent également quelques réalisations.

Cette étude a été effectuée à partir de l'inventaire de Gudmundson et Palmason*, publié en 1981, ainsi qu'à partir de la littérature récente existant sur ce sujet. Cependant, il faut noter, d'une part que les renseignements collectés manquent parfois de précision, et d'autre part qu'il est difficile d'établir des comparaisons entre pays, la définition même de "réalisation géothermique" pouvant être variable (par exemple la balnéothérapie est prise en compte dans certains pays, parfois aussi l'utilisation directe de la vapeur).

Cette étude documentaire a été réalisée sur fonds propres du département Géothermie.

* GUDMUNDSON (J.S.), PALMASON (G.) - World survey of low temperature geothermal energy utilization. - Reykjavik : Orkustofnun, 1981 - 148 p.

I - LA GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE EN ISLANDE, HONGRIE, U.R.S.S., ETATS UNIS

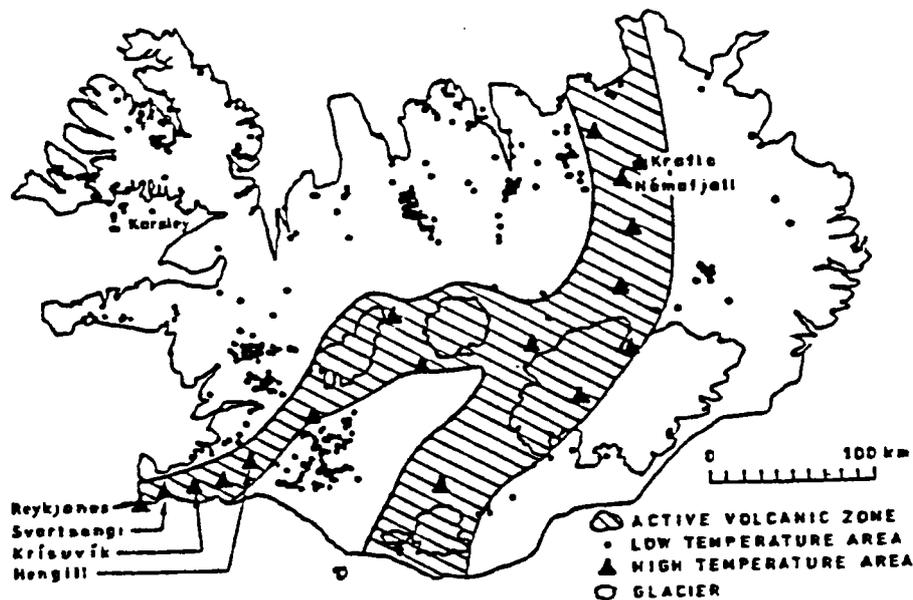
1.1. L'ISLANDE

Superficie : 102 828 km²

Population : 226 724 hab. (1978).

Située sur le rift médio-atlantique qui traverse l'île du Nord-Est au Sud-Ouest, l'Islande dispose d'une configuration géologique remarquable, avec un volcanisme actif. Aussi, les ressources géothermiques de l'île sont particulièrement abondantes.

Les zones géothermiques sont divisées en zones de basses et hautes températures : les zones de hautes températures se situent dans la région volcanique active qui s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est en travers de l'Islande, et les zones de basses températures se trouvent de part et d'autre de cette zone volcanique.



Exploitée de façon intensive depuis 1970, la géothermie basse énergie couvre actuellement un tiers des besoins énergétiques du pays, comme l'indique le tableau ci-après.

REPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE EN ISLANDE (en %)

	<u>1972</u>	<u>1979</u>
Hydrocarbure.....	45,4	36,6
Hydroélectricité.....	28,3	30,0
Géothermie.....	<u>26,3</u>	<u>33,4</u>
	100,0	100,0

Dès le début du siècle, la géothermie a été utilisée pour le chauffage de logements, et ensuite celui de serres. En 1929, 24 forages ont été réalisés à une profondeur maximum de 400 m et produisant 50 m³/h à 87°C. Un système de distribution d'eau a été mis en place en 1930, desservant 70 habitations, une piscine et une école ; ensuite, une autre opération réalisée en 1943 a permis de desservir 2 300 logements.

Actuellement, à côté du chauffage de logements, la géothermie basse énergie trouve son application dans le chauffage de serres, de piscines, le séchage industriel et l'aquaculture.

REPARTITION DE L'UTILISATION DE LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE EN 1980

<u>Chauffage*</u>	<u>Serres</u>	<u>Piscines</u>	<u>Industries</u>	<u>Aquaculture</u>
89,2 %	5,4 %	3,2 %	1,9 %	0,3 %

* Habitations, commerces, industries.

. Chauffage de logements, distribution d'eau chaude

70 % de la population d'Islande est chauffée par géothermie. Le Reykjavic District Heating System est une compagnie de distribution d'eau chaude très importante qui dessert 113.667 hab. dans les villes de Reykjavik, Kopavogur, Halnarljórdur et Gardabaer, et deux communes rurales : Mosfellshreppur et Bassastadakreppur dont la population est respectivement de 2 724 et 422 habitants.

Le rapport annuel du R.D.H.S. de 1979, montre que 98,4 % de la population de ces villes sont chauffés par géothermie, ce qui représente 49,4 % de la population de l'Islande. Le R.D.H.S. distribue également de l'eau chaude pour le chauffage des locaux commerciaux et industriels ; en 1979, le volume chauffé était de 22.388.000 m³.

L'eau chaude produite par le R.D.H.S. provient de trois champs géothermiques, deux dans la ville de Reykjavik, et un à Mosfellssveit à 15-20 kilomètres de distance.

Pendant les mois d'hiver de 1979-1980, la demande la plus importante s'est située en février 1980 où la production a atteint 1 100 tonnes/h à 127°C dans le champ de Langarnes et de 540 tonnes/h d'eau à 97°C dans le champ de Ellidaar.

Afin de faire face aux demandes de pointe, le R.D.H.S. dispose d'une installation au fuel d'une capacité thermique de 35 MW : celle-ci joue un rôle mineur et n'a pas été utilisée depuis 1978.

Il existait au total 24 compagnies publiques de distribution d'eau chaude en Islande en 1979, ainsi que 6 compagnies privées ; les 24 compagnies publiques alimentaient 156.389 personnes, soit 69,0 % de la population. Cette proportion devrait atteindre 80 % d'ici 2 à 3 ans.

• Autres applications de la géothermie

- 79 piscines utilisent la géothermie ; le volume total des bassins représente 20.267 m³ dont 17.483 sont en plein air et 2.783 sont couverts.
- La superficie des serres chauffées est de 146.000 m² et le nombre de piscicultures alimentées en eau chaude s'élève à 9.
- La principale utilisation de l'énergie géothermique basse énergie dans l'industrie s'applique au séchage des algues à Reykholar où il existe également un système de chauffage urbain géothermique ; ce dernier utilise un forage et le séchage trois. Ces trois puits produisent environ 162 m³/h à 112°C.

Dans l'industrie toujours, la vapeur géothermale est utilisée pour le séchage de diatomites, dans le Nord de l'île, à Namafjall.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Compte rendu de mission en Islande du 15 au 19 septembre 1982 (B.R.G.M. - SGN/GTH C.R. n° 56/GE/MD).
- (2) FALK (H.W.) - Geothermal activity in Iceland - Geothermal Energy Magazine, vol. 4, n° 9, 1976, p. 44-46.
- (3) GUDMUNDSSON (J.S.) - Utilization of geothermal energy in Iceland - Applied energy, 2, 1976, p. 128-140.
- (4) GUDMUNDSSON (J.S.), THORHALLSSON (S.), RAGNARS (K.) - Status of geothermal electric power in Iceland 1980 - In : 5th annual Geothermal conference and Workshop, 23-25 1981, San Diego
- (5) GUDMUNDSSON (J.S.) - Low temperature geothermal energy use in Iceland - Geothermics, vol. 11, n° 1, 1982, p. 59-68
- (6) Iceland : Survey of low temperature geothermal energy - p. 68-77 - In : GUDMUNDSSON (J.S.), PALMASON (G.) - World survey of low temperature geothermal energy utilization - Reykjavik : Orkustofmun, 1981
- (7) SPOONER (Jane) - Geothermal energy in Iceland - Mining Magazine, Juin 1981, p. 543-547
- (8) ZOEGA (Johannes) - The district heating system in Reykjavik, Iceland - 1974, 40 p

UTILISATION DE L'ENERGIE GEOTHERMIQUE EN ISLANDE

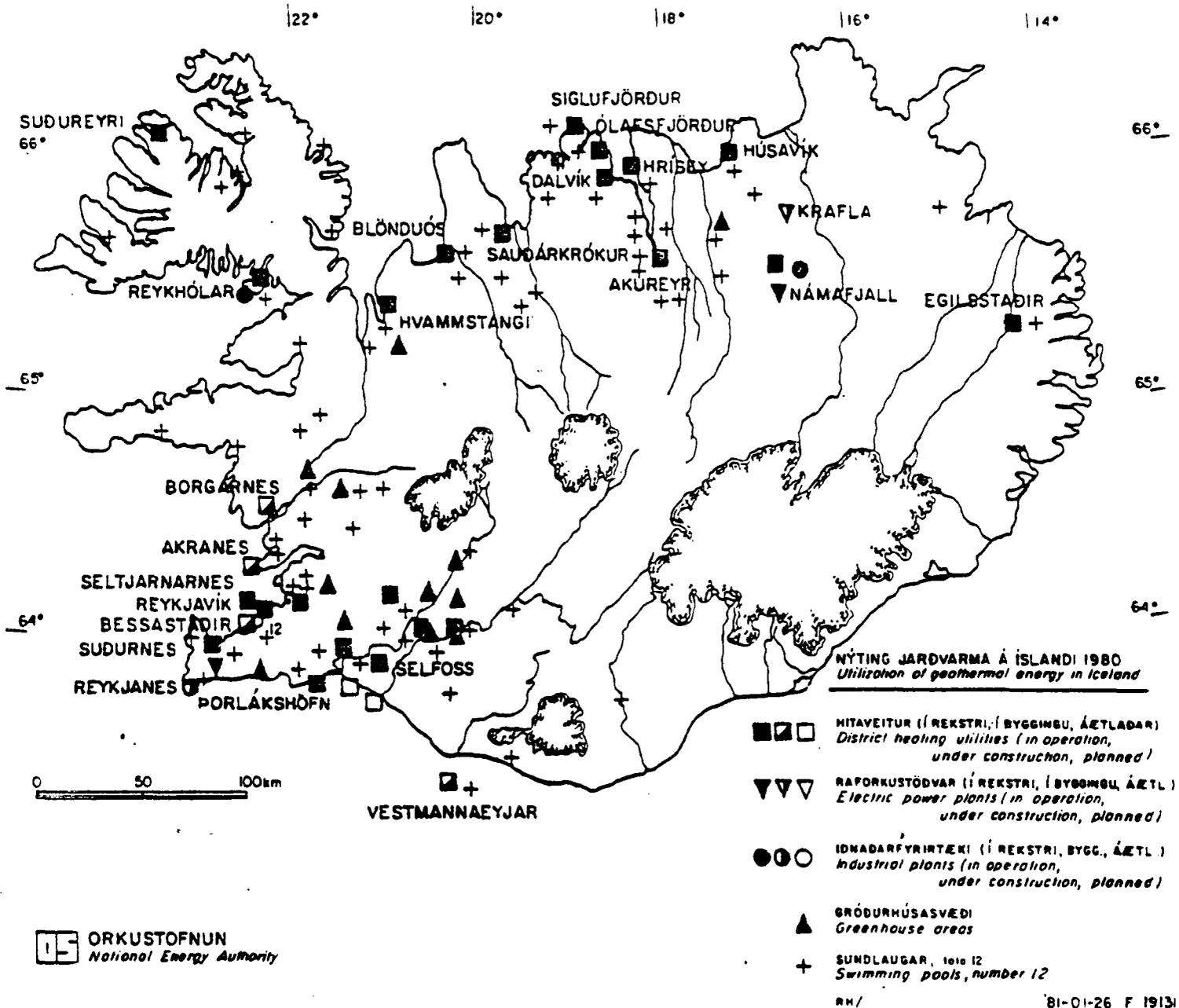


Tableau 1 : COMPAGNIES PUBLIQUES DE DISTRIBUTION D'EAU CHAUDE EN ISLANDE (1979)

Town/Region	Year	Population 1979.12.01	Temperature (°C)		Quantity Water Sold		Heated Space (x10 ³ m ³)			Revenue x10 ⁻⁴ IKR
			Delivered	Returned	x10 ⁻³ (m ³)	(l/min.)	Total	Homes	Other	
Reykjavík	1930	111,905	80	40	41,178	-	22,388	...	...	1,865,220
Seltjarnarnes	1972	2,981	80-85	40	-	1,289	520	...	...	72,915
Mosfellshreppur	1943	2,253	80	40	-	3,106	...	...	...	68,405
Sudurnes **	1975	11,500	80-88	35-40	-	9,200	1,762	1,391	371	645,820
Thorlákshöfn	1979	500	80	40	-	350	...	...	...	1,952
Selfoss	1948	3,157	78	...	934	1,166	...	...	...	161,432
Hveragerði **	...	1,180	80-85	...	-	2,500	...	...	...	74,257
Laugarás	...	91	90	...	-	216	12	10	2	13,859
Flúdir	1967	162	80	40	-	1,403	60	15	45	15,974
Brautarholt	1979	50	73	...	-	300	...	...	...	1,548
Vestmannaeyjar **	1975	1,650	75	35	273	-	211	165	46	74,372
Reykhólar	1974	90	100	...	-	173	...	...	...	277
Sudureyri	1977	512	60	...	-	658	...	...	...	48,700
Hvammstangi	1973	564	78-80	40	19	847	122	...	...	56,488
Blönduós	1978	1,012	60	30-40	-	1,435	176	108	68	93,402
Sauðárkrókur	1953	2,113	66-68	30-45	-	3,520	408	259	149	99,125
Síglufjörður	1975	1,700	80	...	255	1,259	...	...	...	137,233
Ólafsfjörður	1944	1,100	57	25-30	-	2,113	158	116	42	45,031
Dalvík	1969	1,253	60	34-38	-	2,158	223	137	86	64,158
Hrísey	1973	295	56	...	-	455	...	...	...	13,700
Akureyri	1977	9,000	82-90	...	-	6,000	...	...	...	481,288
Húsavík	1970	2,587	80	40	17	3,110	...	...	...	121,312
Reykjahlíð **	1969	284	80	40	-	-	39	29	10	7,923
Egilsstaðir	1979	450	60-65	30-40	-	700	93	59	34	-
Total	.	156,389	.	.	42,676	42,858	...	...	...	7,165,091

* Average 1979 rate of exchange US\$ = 353 IKR.

** In high-temperature geothermal areas.

Tableau 2 : CAPACITE THERMIQUE INSTALLEE (BASSE ENERGIE) EN ISLANDE EN 1980

Town	Capacity (1/s)	Temperature ³⁾ (°C)	Installed thermal capacity (MW)				
			> 0°C	> 5°C	> 15°C	> 35°C	> 40°C
Reykjavík ¹⁾	1694	87	610.4	575.3	505.1	364.8	329.7
Reykjavík	306	127	161.0	154.6	141.9	116.6	110.3
Reykjavík	150	97	60.3	57.2	50.9	38.5	35.4
Seltjarnarnes	48	106	21.1	20.1	18.1	14.1	13.1
Thorlákshöfn	40	100	16.1	15.8	14.1	10.8	9.9
Selfoss	120	83	41.3	38.8	33.8	23.9	21.4
Laugarás	45	100	18.6	17.7	15.8	12.1	11.2
Flúðir	38	96	15.1	14.3	12.8	9.6	8.8
Brautarholt	5	74	1.6	1.5	1.3	0.8	0.7
Reykhólar ²⁾	17	93	6.6	6.2	5.5	4.1	3.7
Sudureyri	22	61	5.6	5.1	4.2	2.4	1.9
Hvammstangi	19	94	7.4	7.0	6.2	4.6	4.3
Blönduós	45	70	13.1	12.1	10.3	6.5	5.6
Saudárkrókur	86	70	24.9	23.2	19.6	12.5	10.7
Siglufjörður	27	68	7.6	7.0	5.9	3.7	3.1
Ólafsfjörður	42	57	9.9	9.1	7.3	3.8	3.0
Dalvík	69	64	18.3	16.9	14.0	8.3	6.9
Hrísey	7	64	1.8	1.7	1.4	0.8	0.7
Akureyri	130	95	51.2	48.5	43.1	32.3	29.6
Akureyri	60	78	19.4	18.1	15.7	10.7	9.4
Húsavík	42	100	17.4	16.5	14.8	11.3	10.4
Egilsstaðir	14	64	3.7	3.4	2.8	1.7	1.4
Total:	3026	-	1132.9	1070.1	944.6	693.9	631.2

1) Includes Mosfellshreppur, cf. Table 1.

2) One borehole serving district heating only.

3) Temperature at well-head.

I.2. LA HONGRIE

Superficie : 93 030 km²

Population : 10 625 000 hab. (1976).

La Hongrie devant importer la plupart des matières premières ainsi que les différents produits énergétiques dont elle a besoin, elle a été amenée au cours de ces dernières années à reconsidérer le potentiel géothermique dont elle dispose.

En effet, la Hongrie constitue une zone privilégiée pour l'utilisation de la géothermie : le gradient et le flux géothermique y sont très favorables (valeur moyenne du gradient géothermique : 5 à 6°C/100 m, et flux terrestre moyen d'environ $2,6 \cdot 10^{-6}$ cal/cm²s).

La recherche, le développement et l'exploitation des ressources géothermiques sont très anciens en Hongrie.

Les premiers puits d'eau chaude ont été forés en 1866 à Harkany, station balnéaire de la partie méridionale du pays. Par la suite, ont été forés le puits de l'île Marguerite de Budapest en 1867, et entre 1868 et 1878, le puits du Bois de la ville de Budapest, à une profondeur de 970 m. Ce dernier est toujours en exploitation et a un débit de 30 m³/h à 74°C.

La deuxième étape de la prospection et de l'exploitation de l'eau chaude se situe entre les deux guerres mondiales, pendant laquelle beaucoup de forages ont été réalisés sur la Grande Plaine Hongroise. Ces forages, surtout effectués pour la prospection de pétrole et de gaz naturel, ont permis le développement du thermalisme et de la balnéothérapie.

A partir de 1954, l'exploitation des puits est devenue de plus en plus importante, en particulier entre 1967 et 1972, où 40 à 45 puits étaient forés chaque année. Le rythme actuel est de 10 à 18 par an.

En 1980, le nombre de puits fournissant de l'eau au-dessus de 35°C est de 590, dont 180 ont une température supérieure à 60°C.

<u>Température de l'eau</u> <u>(en °C)</u>	<u>Nombre de puits</u>	<u>%</u>
35 - 44	240	40,7
45 - 59	169	28,7
60 - 69	72	12,3
70 - 79	49	8,3
80 - 89	30	5,0
90	30	5,0

. Applications de la géothermie

L'utilisation de la géothermie est la plus diversifiée dans les régions où les puits sont implantés sur les grands réservoirs aquifères du Pliocène moyen ; les ressources en eaux chaudes les plus importantes se situent dans le sous-bassin hydrogéologique de la Grande Plaine Hongroise méridionale où les conditions géologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques sont les plus favorables.

La plupart des puits à grand débit et à haute température ont été forés dans cette région.

L'application de la géothermie va du thermalisme au chauffage urbain, l'application la plus caractéristique étant sans doute le chauffage des serres, des tentes et tunnels plastiques, de manière intensive.

UTILISATION DES PUIITS GEOTHERMIQUES
(au 1er janvier 1980)

Température entre 35 et 100°C		Température > à 60°C	
<i>Mode d'utilisation</i>	<i>Nombre de puits</i>	<i>Mode d'utilisation</i>	<i>Nombre de puits</i>
Balnéologie-Thérapeutique...	222	Agriculture.....	68
Eau potable.....	149	Thermalisme-Balnéothérapie.	51
Agriculture.....	89	Chauffage des bâtiments et eau chaude sanitaire.....	9
Industrie.....	15	Industrie.....	2
Production secondaire du pétrole.....	10	Production secondaire du pétrole.....	4
Chauffage des bâtiments et eau chaude sanitaire.....	10	Autres.....	
Observation scientifique....	18	Temporairement fermés ou abandonnés.....	21
Temporairement fermés.....	56		
Abandonnés.....	21		
TOTAL.....	590	TOTAL.....	160

. Chauffage urbain et chauffage des bâtiments

Actuellement, 9 puits fournissent de l'eau chaude à une température comprise entre 60 et 90°C pour le chauffage de bâtiments et de logements. Des hôpitaux, écoles et logements sont chauffés dans les villes de Budapest, Győr, Hodmezoversarhely, Mako, Szeged et Szentes.

A Szeged par exemple, environ un millier de logements sont chauffés depuis 1962 par l'énergie géothermique, et actuellement 3 000 nouveaux logements utilisent ce mode de chauffage. Une étape ultérieure prévoit le chauffage de 10 000 logements. L'économie d'énergie grâce à la géothermie serait d'environ 10 000 TEP/an, et l'investissement rentabilisé en 4 ans.

L'hôpital de la ville de Szentes utilise la géothermie, ce qui lui permet d'économiser chaque jour 37 TEC (Tonnes Equivalent Charbon) ; l'investissement aurait été récupéré en 3,3 ans.

. Agriculture

Dans la Grande Plaine Hongroise, 80 % des serres sont chauffées par géothermie. Le chauffage se fait dans trois sortes d'installations : serres, tentes et tunnels plastiques, chauffage au sol. Ces installations permettent de produire des fleurs (oeillets, roses, fleurs ornementales), des légumes (paprika, tomates, laitues, concombres...).

Par ailleurs, une cinquantaine d'installations d'élevages de poules, porcs, veaux, utilisent cette source d'énergie (chauffage de l'air ou planchers chauffants), ainsi que des piscicultures et des installations de séchage des céréales. La température des eaux chaudes qui servent à l'agriculture varie entre 45 et 100°C.

La valeur totale de l'énergie géothermique utilisée dans l'agriculture est estimée à $425 \cdot 10^9$ kcal/an (soit environ 42 500 TEP).

. Industrie

Les usines de chanvre (activation de l'opération de rouissage), dans la Grande Plaine Hongroise, sont alimentées en eau chaude par 11 puits (température entre 40 et 50°C).

Dans le domaine de la production secondaire du pétrole, près de la ville de Szeged (champ de pétrole d'Algérie), 10 puits fournissent l'eau chaude stérile pour l'opération de réinjection.

. Balnéologie et balnéothérapie

La plupart des puits de Hongrie (222) sont utilisés pour la balnéologie et la balnéothérapie, la composition des eaux thermales se prêtant particulièrement à ces usages là. Les stations les plus importantes sont celles de Budapest, Bück, Debrecev, Gyor, Gyala.

. Utilisation de l'eau chaude en cascade

A Lipok, dans la Petite Plaine Hongroise, l'eau (64°C) est utilisée en cascade pour le chauffage de serres, de tentes et tunnels plastiques, pour l'alimentation de la piscine et d'une pisciculture, et également pour l'irrigation.

L'Etat a largement favorisé la réalisation d'ouvrages géothermiques par diverses mesures et moyens financiers. Il existe des fonds propres et spéciaux, des subventions, des prêts et avances financières pour les organismes municipaux, les collectivités locales, les coopératives agricoles.

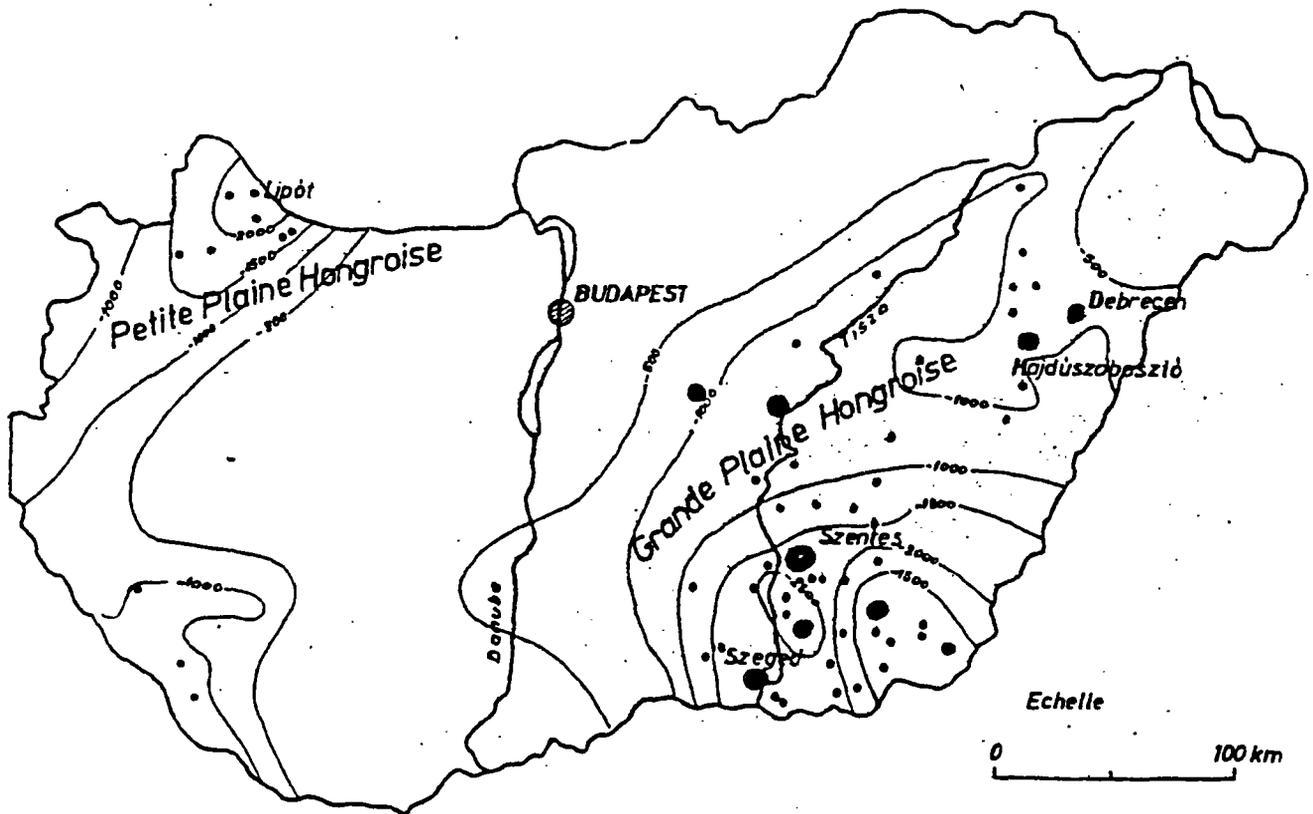
Entre 1965 et 1972, les travaux géothermiques dans le domaine de l'agriculture et du chauffage urbain ont été financés entièrement par les fonds propres du Comité National de Développement Technique. Actuellement, les coopératives agricoles financent par leurs propres moyens la réalisation des ouvrages géothermiques.

L'énergie géothermique est considérée comme une ressource énergétique complémentaire dans le domaine de la gestion de l'énergie nationale, et une solution compétitive, concurrente des énergies conventionnelles dans les régions privilégiées.

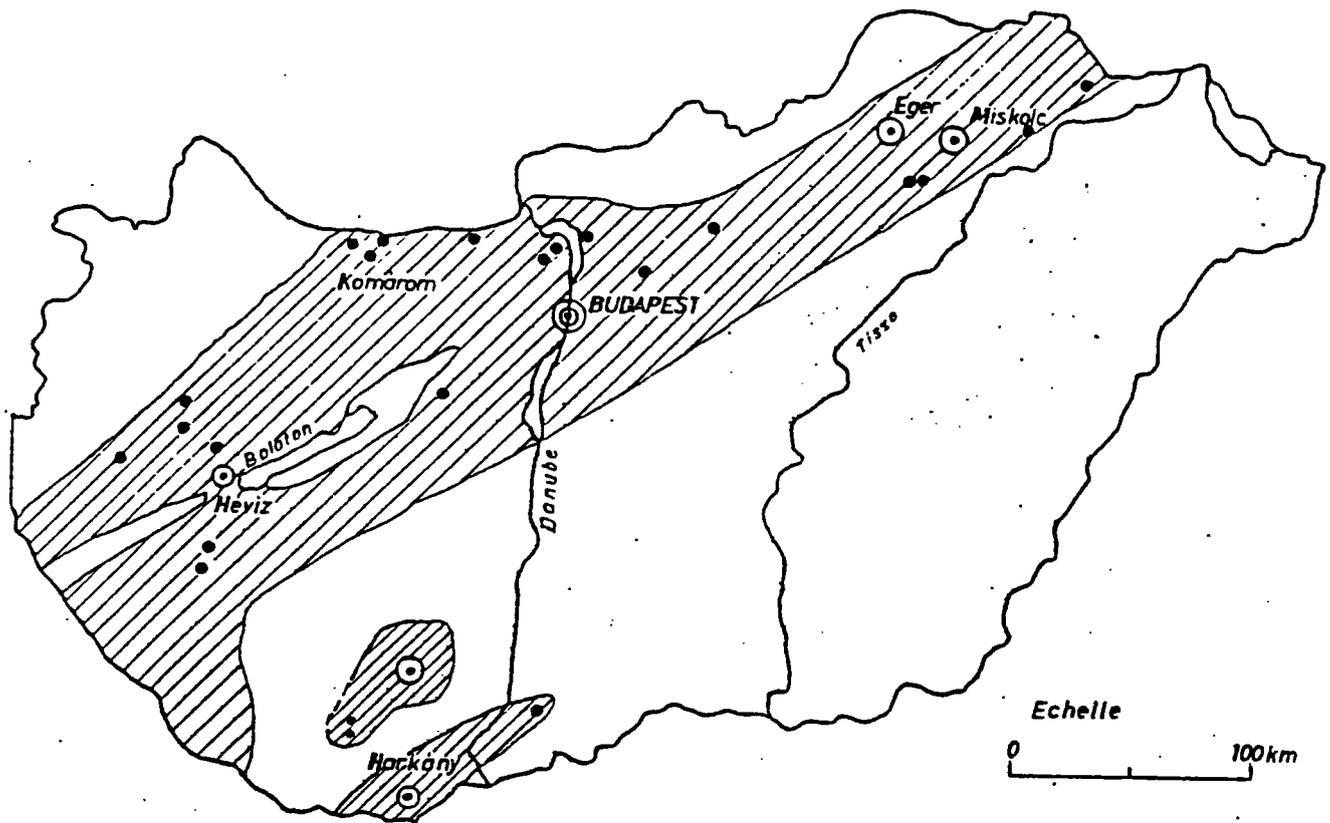
BIBLIOGRAPHIE

- (1) BOKA (A.) - La géothermie en Hongrie - 2 p. in "Les énergies renouvelables" - Tunis, 28 sept. - 2 oct. 1982
- (2) CENTRE DE FORMATION SUR LES TECHNIQUES HONGROISES - L'exploitation des ressources en eaux chaudes et les principales tendances de leurs utilisations en Hongrie - Paris : C.F.T.H., 1980, 23 p.
- (3) "Hungary : Survey of Low Temperature Geothermal Energy", p. 46-50 in GUDMUNDSSON (J.S.), PALMASON (G.) - World survey of low temperature geothermal energy utilization - Reykjavik : Orkustofmun, 1981
- (4) KORIM KALMAN - "Les résultats de la recherche des eaux thermales... et de la construction des puits en Hongrie", 14 p. in JOURNÉES ECONOMIQUES ET TECHNIQUES HONGROISES, Lyon, 25-27 avril 1979, 19 p.
- (5) KORIM KALMAN - L'exploitation et l'utilisation des eaux géothermales en Hongrie - Techniques de l'énergie, avril 1980, p. 38-41
- (6) ZOLTMAN (L.) - Possibilités de la coopération étrangère pour l'exposition complexe des eaux thermales hongroises - Marketing en Hongrie (1981)

FORAGES GEOTHERMIQUES EXPLOITANT LES RESERVOIRS AQUIFERES
DU PANNONIEN SUPERIEUR EN HONGRIE



FORAGES GEOTHERMIQUES EXPLOITANT LES RESERVOIRS AQUIFERES CARBONATES
DU TRIAS EN HONGRIE



I.3. L'U.R.S.S.

Superficie : 22 740 000 km²

Population : 260 000 000 hab.

Les ressources de l'Union Soviétique en énergies traditionnelles sont considérables et mettent ce pays à l'abri de problèmes importants d'approvisionnement pour les décennies à venir.

On cite les chiffres suivants pour les réserves prouvées :

- . *pétrole*..... 10 370 millions de tonnes
- . *gaz naturel*..... 26 036 milliards de mètres-cube
- . *charbon*..... 82,9 milliards de tonnes
- . *hydroélectricité*... de l'ordre de 200 millions de kW.

Pour cette raison, l'U.R.S.S. n'a pas jusqu'à présent été amenée à accorder une grande importance aux sources d'énergies alternatives.

Cependant, la consommation par habitant allant en augmentant et les sources principales d'énergie étant situées dans la partie orientale du pays alors que les centres de consommation se trouvent dans la partie occidentale, ces deux facteurs ont amené récemment le pays à favoriser l'étude et l'utilisation des énergies non traditionnelles, dont la géothermie.

En effet, les ressources géothermiques de l'Union Soviétique sont importantes ; les régions où le gradient géothermique est le plus élevé sont l'Ouest de la Sibérie, le Nord et le Trans-Caucase, le Nord du Kazatchston, les montagnes des Carpathes et la péninsule de Kamchatka (voir carte n° 1).

L'utilisation de basses températures a été beaucoup plus développée que la production d'électricité par géothermie. La péninsule de Kamchatka a cependant été le lieu d'efforts des soviétiques pour tenter d'utiliser l'énergie géothermique pour la production d'électricité, Kamchatka étant une zone tectonique et volcanique très active, et, en plus des volcans, dispose d'un grand nombre de sources thermales et de geysers.

RESSOURCES GEOTHERMIQUES DE L'U.R.S.S. (Dvorov)

Température (en °C)	Volume (million de m ³)	%
40 - 80	12,55 - 13,75	62,42
80 - 100	5,25 - 5,78	26,45
100 - 150	1,54 - 1,74	7,80
150 - 200	0,66 - 0,73	3,33
TOTAL.....	20,00 - 22,00	

La première utilisation de l'énergie géothermique en U.R.S.S. remonte à 1940, lorsque les eaux chaudes obtenues des puits de pétrole dans le Daghestan, république du Nord du Caucase, ont été utilisées pour le chauffage ; le forage de puits géothermiques a par la suite débuté en 1966.

Bien que l'utilisation de cette source d'énergie soit encore modeste, elle va en s'accroissant ; en effet, pendant les 5 dernières années, l'extraction des eaux thermales a augmenté de 60 % (25 millions de m³ en 1976 et 40 en 1980) et 170 puits sont actuellement exploités.

. Utilisation de l'énergie géothermique

Actuellement, le chauffage urbain et le chauffage de serres constituent les principales utilisations de la géothermie.

Le Daghestan (Nord du Caucase), première région de l'U.R.S.S. où la géothermie a été utilisée, dispose de ressources importantes, à des profondeurs de 500 à 5 500 m. Ces réserves sont chiffrées à un minimum de 4 à 5 millions de m³/jour. Aujourd'hui, les villes de Maknakhkala, capitale de Daghestan, ainsi que Izberbach et Kizlyar utilisent la géothermie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Actuellement 200 000 m² de logements, de bâtiments administratifs, industriels ou culturels seraient chauffés avec des eaux thermales (Dvorov).

L'eau géothermale est également utilisée dans les républiques de Transcaucasie, tout d'abord en Georgie qui dispose de ressources abondantes à une température moyenne de 80°C : un grand complexe de cultures de légumes est à l'étude. Les eaux thermales sont déjà utilisées pour alimenter plusieurs villes dont Tbilissi et Zugdidi.

L'Ouest de la Sibérie, qui est un des principaux centres de production de pétrole et de gaz possède aussi d'importantes ressources géothermales qui sont utilisées pour augmenter la capacité de production des gisements de pétrole et pour l'aquaculture.

• Autres applications de la géothermie

- Agriculture

Les eaux thermales sont également utilisées dans l'agriculture dans le Caucase, dans la province de Krasnodar, en Sibérie, en Transcaucasie, à Chukotka et Kamchatka pour le chauffage de serres ; la température de l'eau varie de 70 à 100°C. La superficie totale des serres chauffées par géothermie représente environ 500 000 m².

La géothermie devrait trouver son application dans l'agriculture très développée. En effet, pour faire face à la demande en légumes frais qui va en s'accroissant, il est prévu d'augmenter considérablement la superficie en serres, et on considère que les coûts de construction de serres chauffées par géothermie sont rentabilisés en 3 ou 4 ans.

- Aquaculture

Des bassins d'élevage de poissons sont alimentés par de l'eau géothermale dans l'Ouest de la Sibérie à Kamchatka.

On compte actuellement environ 30 ha de bassins, produisant 1 500 tonnes de poissons par an.

- Industrie

A Zugdidi (Georgia), de l'eau à 98°C est utilisée pour le séchage du thé.

Les eaux géothermales sont aussi utilisées pour le lavage de la laine (région de Tyumen), la production de papier (Zugdidi, température à 98°C), le chauffage de champs de pétrole (Ouest du Kazakhstan, température à 80°C environ).

Dans le Nord du Caucase, West Turkmeniq et l'Ouest de la Sibérie, de l'iode et du brome sont extraits de l'eau salée géothermale.

- Piscines

Plusieurs piscines ont été construites, fonctionnant avec de l'eau géothermale en R.S.F.S.R. (Nord du Caucase, Est de la Sibérie, Kamchatka), dans l'Ukraine, et dans les républiques Transcaucasiennes.

Des projets concernant la diversification de l'utilisation de l'énergie géothermique sont étudiés, notamment pour la réfrigération et la réalisation de systèmes à air conditionné dans les régions tropicales du pays (Middle Asia, Caucase).

Le développement de la connaissance des ressources géothermiques et de leur utilisation est sous la responsabilité du Ministre du Gaz et de l'Industrie et de ses subdivisions régionales. En outre, quelques républiques disposent d'organisations auxiliaires telles que l'Administration pour l'utilisation de la chaleur souterraine de la république de Géorgie.

BIBLIOGRAPHIE

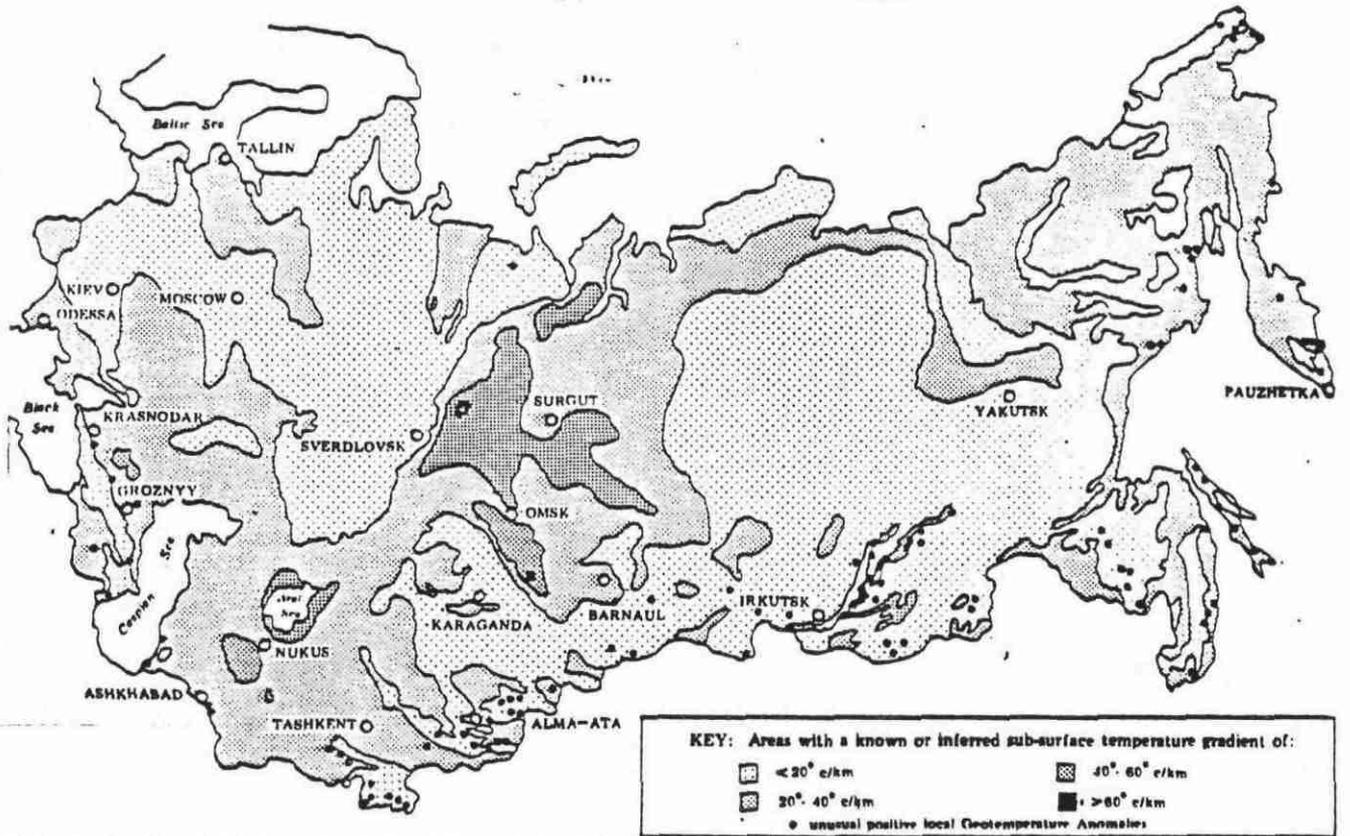
- (1) BOKSERMAN (Y.) - The potential and prospects of geothermal power generation in the USSR - Geothermal energy, vol. 9, n° 9, 1981
- (2) DVOROV (I.M.), DVOROV (V.I.) - USSR Geothermal resource and their complex use - Geo-Heat Center, vol. 7, n° 1, p. 6-11
- (3) FONONOV (V.I.) (Institut de géologie, Académie des Sciences d'URSS) - Present state of development of geothermal resources in the USSR - Geothermics, vol. 10, n° 4, 1981, p. 133-143

- (4) La politique et les projets soviétiques en matière d'énergies nouvelles - Problèmes économiques, n° 1.691, 1980, p. 28-31
- (5) PRYDE (P.R.) - Geothermal energy development in the Soviet Union - Geo-Heat Center, vol. 4, n° 2, 1979, p. 69-81
- (6) PRYDE (P.R.) - Geothermal energy developments in the Soviet Union - Geo-Heat Utilization Center Quarterly Bulletin, 4, 1981, p. 8-14
- (7) "Union of Soviet Socialist Republics : survey of low temperature geothermal energy" - p. 39-45, in : GUDMUNDSSON (J.S.), PALMASON (G.) - World survey of low temperature geothermal energy utilization - Reykjavik : Orkustofmun, 1981

CHAUFFAGE D'HABITATIONS ET DE LOCAUX INDUSTRIELS DANS LE CAUCASE

Ville, République	Nombre d'hab. utilisant l'eau géothermale	Débit d'un puits de production (m ³ /h ⁻¹)	Température à l'entrée du système	Température à la sortie du système
. RSFSR				
Daghestan ASSR				
Makhachkala	20 000	35-65	70	25-30
Kizlyar	30 000	36-72	100	58
Izberbash	23 000	36-72	100	45
Checheno-Ingusk				
. ASSR				
Crozy région				
	5 000	54-110	80-96	45
Georgian SSR				
Tbilissi	25 000	43-54	70	20
Zugdidi	5 000	110-220	98	30
Tsaishi	5 000	90-110	81-85	40

CARTE DU GRADIENT GEOTHERMIQUE DE L'U.R.S.S.



Source: Adapted from G.B. Gavins and F.A. Makarenko, "Geothermal Map of the USSR" (1975), p. 1016.

PRP 10.71

ZONES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE
EN UNION SOVIETIQUE



FIGURE 3
AREAS OF GEOTHERMAL
DEVELOPMENT IN THE SOVIET UNION

I.4. U.S.A.

Superficie : 9 363 168 km²

Population : 297 329 000 hab. (1978).

Les Etats Unis comptent environ 211 réalisations en géothermie basse énergie (chauffage urbain, serres, aquaculture...), dans 14 états.

Bien que ces réalisations à partir de basses températures ne produisent que de petites quantités d'énergie en comparaison des centrales géothermiques qui fournissent de l'électricité, l'ensemble des utilisations permet cependant d'économiser une quantité d'énergies traditionnelles significatives. En effet, les économies ainsi réalisées représentent 2 258 000 barils de pétrole chaque année.

Actuellement, 42 opérations sont en cours de réalisation, et 197 ont été proposées dans 18 états, comme l'indique le tableau suivant.

La géothermie est principalement utilisée dans l'Ouest des Etats Unis, en raison de la qualité de la ressource ; elle trouve son application surtout dans le chauffage, mais on trouve également un certain nombre d'utilisations dans l'industrie et dans l'aquaculture.

Ainsi, une usine de séchage d'oignons du Néveda utilise la géothermie comme source principale d'énergie. Quatre usines de production d'éthanol par géothermie sont devenues opérationnelles en 1980, ce qui permet d'économiser environ 7 500 TEP.

Plusieurs projets sont également à l'étude, qui visent à diversifier l'utilisation de la géothermie, comme l'indiquent les quelques exemples suivants :

- . chauffage des digesteurs anaérobies de la station d'épuration de San Bernardino en Californie ;
- . utilisation du fluide géothermal pour l'irrigation de cultures énergétiques sur l'Imperial Est Mesa Desert en Californie (culture de betteraves à sucre) ;
- . utilisation en cascade de l'eau géothermale à Salido (Colorado) pour le chauffage urbain, l'alimentation en eau chaude sanitaire, le chauffage de locaux commerciaux, chauffage et production d'eau chaude pour des hôtels, restaurants, serres, piscines, chauffage de locaux industriels.

1)

STADE D'AVANCEMENT ETAT/ USAGE	EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
ALASKA								
Résidentiel	2	(2)	-	-	-	-	26	(3)
Commercial	-	-	-	-	-	-	5	(1)
Industriel	8	(1)	-	-	-	-	10	(1)
Agriculture	28	(3)	-	-	-	-	-	-
Loisirs	10	(3)	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	48	(9)	-	-	-	-	42	(6)
ARKANSAS								
Loisirs	1	(1)	-	-	1	(1)	-	-
Sous-total	1	(1)	-	-	1	(1)	-	-
CALIFORNIA								
Résidentiel	59	(2)	25	(1)	-	-	-	-
Commercial	2	(2)	50	(4)	-	-	26	(4)
Industriel	110	(2)	1300	(1)	531	(6)	4300	(4)
Agriculture	364	(5)	315	(2)	-	-	101	(2)
Aquaculture	171	(1)	-	-	-	-	-	-
Sous-total	706	(12)	1690	(8)	531	(6)	4427	(10)
COLORADO								
Résidentiel	4	(5)	32	(1)	-	-	61	(7)
Commercial	11	(6)	50	(1)	103	(2)	21	(8)
Industriel	20	(2)	5	(1)	169	(4)	260	(3)
Agriculture	2	(2)	-	-	-	-	2	(2)
Aquaculture	6	(2)	-	-	-	-	-	-
Loisirs	1	(2)	-	-	-	-	3	(4)
Sous-total	44	(19)	87	(3)	272	(6)	347	(24)
HAWAI								
Industriel	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Agriculture	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Sous-total	-	-	-	-	-	-	200	(2)
IDAHO								
Résidentiel	44	(7)	-	-	5	(1)	1006	(13)
Commercial	3	(3)	209	(2)	-	-	870	(11)
Industriel	-	-	120	(1)	1900	(7)	3904	(19)
Agriculture	14	(9)	-	-	-	-	45	(5)
Aquaculture	895	(5)	-	-	-	-	301	(4)
Loisirs	14	(28)	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	970	(52)	329	(3)	1905	(8)	6127	(53)

2)

STADE D'AVANCEMENT ETAT/ USAGE	EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
REPORT	970	(52)	329	(3)	1905	(8)	6127	(53)
INDIANA								
Industriel	-	-	-	-	100	(1)	-	-
Commercial	-	-	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	-	-	-	-	100	(1)	1	(1)
MARYLAND								
Résidentiel	-	-	-	-	4	(1)	-	-
Commercial	-	-	-	-	5	(1)	-	-
Industriel	-	-	-	-	100	(1)	55	(1)
Sous-total	-	-	-	-	109	(3)	55	(1)
MICHIGAN								
Agriculture	-	-	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	-	-	-	-	-	-	1	(1)
MONTANA								
Résidentiel	3	(3)	-	-	-	-	35	(4)
Commercial	5	(6)	27	(2)	5	(1)	6	(2)
Industriel	-	-	480	(1)	286	(1)	660	(2)
Agriculture	2	(1)	4	(1)	-	-	1	(1)
Aquaculture	100	(1)	-	-	-	-	3	(1)
Loisirs	4	(6)	-	-	1	(1)	-	-
Sous-total	114	(17)	511	(4)	292	(3)	705	(10)
NEVADA								
Résidentiel	9	(7)	5	(1)	1200	(1)	11	(3)
Commercial	16	(2)	131	(3)	1	(1)	12	(4)
Industriel	289	(4)	100	(1)	900	(2)	1060	(5)
Agriculture	2	(2)	-	-	-	-	31	(2)
Aquaculture	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Sous-total	316	(15)	236	(5)	2101	(4)	1214	(13)

3)

ETAT/ USAGE	STADE D'AVANCEMENT		EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
NEW JERSEY										
Résidentiel	-	-	-	-	-	-	40	(1)	-	-
Sous-total	-	-	-	-	-	-	40	(1)	-	-
NEW MEXICO										
Résidentiel	4	(5)	-	-	-	-	-	-	23	(4)
Commercial	9	(3)	405	(4)	405	(4)	405	(4)	553	(4)
Industriel	1	(1)	-	-	-	-	43	(2)	160	(2)
Agriculture	116	(6)	42	(2)	-	-	-	-	600	(1)
Loisirs	1	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Sous-total	131	(17)	447	(6)	813	(3)	813	(3)	1336	(11)
NEW YORK										
Commercial	-	-	1	(1)	-	-	-	-	-	-
Industriel	-	-	-	-	110	(2)	110	(2)	50	(1)
Sous-total	-	-	1	(1)	110	(2)	110	(2)	50	(1)
NORTH DAKOTA										
Résidentiel	-	-	-	-	-	-	-	-	5	(3)
Commercial	1	(1)	5	(1)	1	(1)	1	(1)	27	(8)
Industriel	-	-	-	-	-	-	-	-	220	(3)
Agriculture	2	(2)	-	-	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	3	(3)	5	(1)	1	(1)	1	(1)	253	(15)
OREGON										
Résidentiel	39	(11)	1	(1)	1	(1)	1	(1)	41	(5)
Commercial	21	(4)	37	(3)	-	-	-	-	14	(6)
Industriel	277	(4)	120	(1)	200	(2)	200	(2)	310	(5)
Agriculture	18	(5)	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquaculture	110	(4)	-	-	-	-	-	-	-	-
Loisirs	7	(3)	-	-	-	-	-	-	-	-
Sous-total	472	(31)	158	(5)	201	(3)	201	(3)	365	(16)
SOUTH DAKOTA										
Résidentiel	*	(1)	*	(1)	-	-	-	-	40	(2)
Commercial	32	(5)	-	-	-	-	-	-	16	(6)
Industriel	100	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
Agriculture	79	(2)	-	-	-	-	-	-	1 016	(2)
Sous-total	211	(9)	*	(1)	-	-	-	-	1 072	(10)

4)

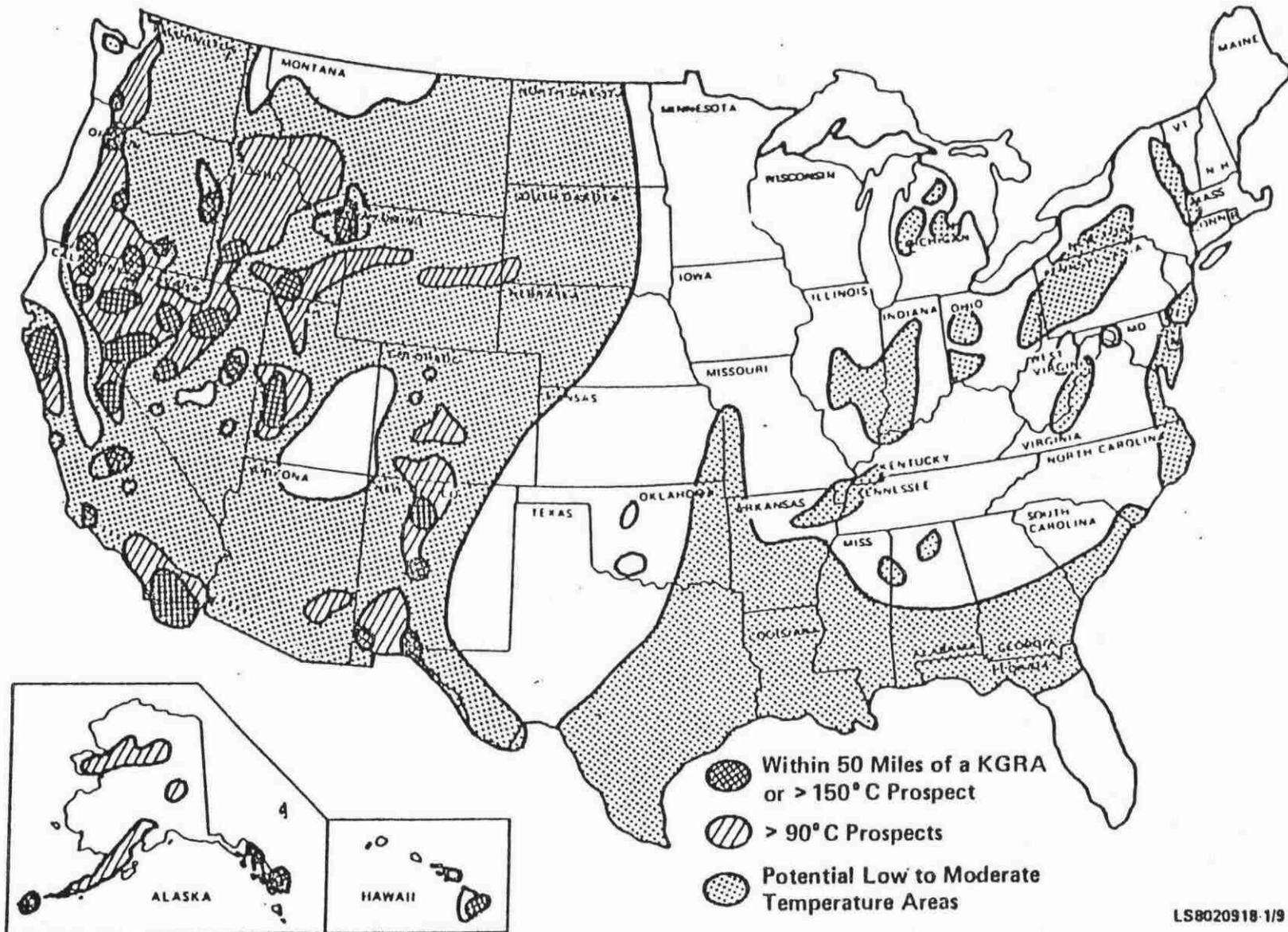
ETAT/ USAGE	STADE D'AVANCEMENT		EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
			10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
TEXAS										
Commercial	-	-	46	(2)	-	-	-	-	1	(1)
Industriel	-	-	-	-	-	-	-	-	600	(1)
Sous-total	-	-	46	(2)	-	-	-	-	601	(2)
UTAH										
Résidentiel	1	(1)	5	(1)	-	-	-	-	110	(2)
Commercial	21	(3)	-	-	-	-	-	-	2	(2)
Industriel	-	-	420	(1)	-	-	-	-	-	-
Agriculture	18	(3)	75	(1)	-	-	-	-	-	-
Aquaculture	5	(1)	-	-	-	-	-	-	1	(1)
Loisirs	11	(8)	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Sous-total	56	(16)	500	(3)	-	-	-	-	213	(6)
VIRGINIA										
Commercial	-	-	-	-	3	(1)	-	-	-	-
Sous-total	-	-	-	-	3	(1)	-	-	-	-
WASHINGTON										
Résidentiel	-	-	-	-	5	(1)	5	(1)	5	(1)
Commercial	-	-	-	-	7	(3)	6	(2)	6	(2)
Industriel	10	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
Agriculture	2	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
Loisirs	2	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
Sous-total	14	(3)	-	-	12	(4)	11	(3)	11	(3)
WYOMING										
Résidentiel	1	(3)	-	-	-	-	-	-	4	(1)
Commercial	15	(2)	-	-	-	-	-	-	10	(3)
Industriel	-	-	-	-	-	-	-	-	360	(3)
Agriculture	1	(1)	-	-	-	-	-	-	102	(3)
Sous-total	17	(6)	-	-	-	-	-	-	476	(10)
TOTAL	3104	(211)	4010	(42)	6491	(47)	17,496	(197)	17,496	(197)
GRAND TOTAL							41,101	(499)	41,101	(499)

* moins de 5 x 10⁹ Btu/an

BIBLIOGRAPHIE

- (1) FORNES (A.O.) - Direct use geothermal district heating projects in the U.S. - Geothermal energy, 1982, p. 6-13
- (2) KNAUF (F.E.) - "National estimate for direct use" - p. 527-530 in : Geothermal Resources Council Transactions, vol. 5, 1981 Annual Meeting, Octobre 25-29, 1981, Houston, Texas
- (3) MACINE (W.C.) - Feasibility of utilising geothermal energy for waste water treatment at San Bernardino, CA. p. 557-560
- (4) ROBINSON (F.E.), THOMAS (T.R.), SINGH (F.) - Geothermal fluids to irrigate energy crops on imperial east Mesa desert, Californie, p. 561-562
- (5) ZOCHOLL (J.R.) - An engineering design for geothermal commercial and industrial direct heat applications in Salida, Colorado, p. 583-590

RESSOURCES GEOTHERMIQUES CONNUES ET POTENTIELLES



LS8020918-1/9

II - LA GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE DANS LES PAYS DE LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE ET DANS D'AUTRES PAYS

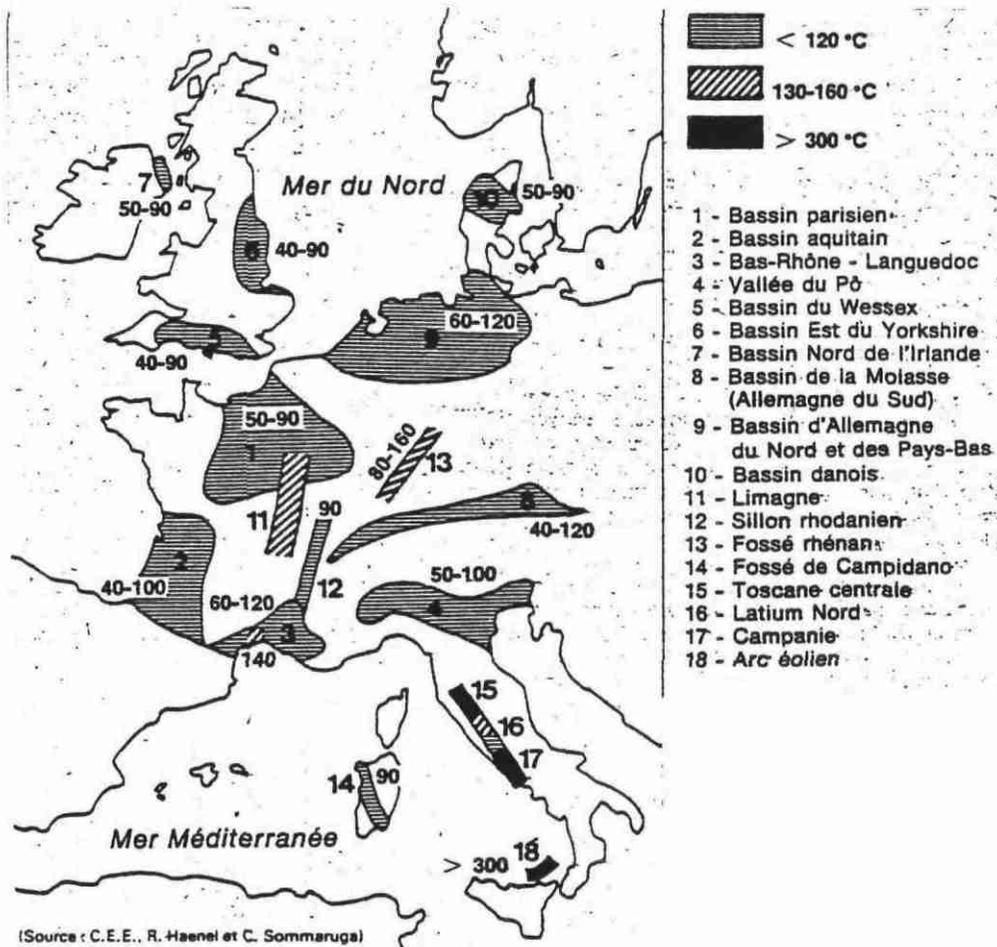
II.1. LA C.E.E.

Deux pays de la Communauté Européenne sont engagés depuis longtemps dans l'exploitation de la géothermie : l'Italie dans le domaine de la production d'électricité sur le champ de vapeur sèche de Lardarello, en Toscane (la capacité installée est passée depuis 1904 de 250 kwe à 400 Mwe) et la France dans l'utilisation directe des aquifères chauds (principalement le bassin parisien et le bassin aquitain) pour le chauffage de locaux.

En France, la première opération est celle de Melun l'Almont qui permet, depuis 1970, de fournir l'eau chaude sanitaire à 3 000 logements. A la fin de l'année 1982, 22 installations sont en service et vont permettre une économie d'environ 50 000 tep par an. En 1983, 16 opérations devraient normalement entrer en service, ce qui rendrait possible une économie annuelle de 85 000 tep. La géothermie est principalement utilisée pour la fourniture d'eau chaude sanitaire et pour le chauffage dans le secteur résidentiel et exceptionnellement pour le chauffage de locaux industriels ou d'hôpitaux.

Cependant, depuis 1975, les recherches géothermiques se sont développées dans les pays de la Communauté Européenne dans le but de réduire la dépendance vis à vis des sources d'énergie importées. C'est ainsi que des programmes communautaires de Recherche et Développement en énergie géothermique se sont mis en place, puis, depuis 1978, des programmes d'aide aux opérations de démonstration.

REPARTITION GLOBALE DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN EUROPE
 ET TEMPERATURES PREVISIBLES A MOINS DE 3 KM DE PROFONDEUR



II.2. AUTRES PAYS

Le JAPON dispose à la fois de ressources géothermiques haute et basse températures. Les basses températures sont utilisées pour le chauffage et l'alimentation en eau chaude de 9 villes, les serres (environ 65 000 m²) et l'aquaculture.

En 1958, un jardin botanique, "the Atagawa Tropical Garden and Alligator Fasm", a été créé, près de Tokyo. L'eau géothermale y est utilisée pour la culture de plantes tropicales dans 13 serres, ainsi que pour l'élevage de crocodiles et d'alligators. Les serres et les bassins d'élevages sont chauffés d'octobre à mai avec de l'eau à 105°C en provenance de quatre puits.

Ayant remarqué que les canalisations d'eau chaude qui alimentaient les habitations faisaient fondre la neige, ce procédé est actuellement utilisé dans ce but ; ainsi, 11 840 m² étaient ainsi couverts à la fin de 1981.

S'étant particulièrement développée après la première crise pétrolière de 1973, l'utilisation directe des ressources géothermiques représente aujourd'hui au Japon 34,2 Mwt :

- . 16,2 pour l'utilisation domestique,
- . 15,0 dans l'agriculture et l'aquaculture,
- . 2,5 pour la fonte de la neige,
- . 0,5 pour les activités de loisirs.

La CHINE dispose de ressources géothermiques abondantes, surtout en basse énergie. Ces ressources sont déjà utilisées depuis plusieurs années dans différents domaines.

L'eau géothermale est utilisée pour des procédés industriels qui nécessitent de l'eau chaude, le chauffage de logements et de locaux, la réfrigération et le conditionnement de l'air, l'aquaculture.

Parmi les utilisations industrielles, on peut citer : filature et tissage de la laine, impression et teinture, industrie du cuir, fabrication de la soie, fabrication du papier, cimenteries, extraction d'éléments chimiques.

Dans le domaine de l'agriculture, on rencontre des applications pour le séchage du blé, du paddy, du tabac, de la poudre de lait ainsi que d'autres produits agricoles. Plusieurs serres utilisent également cette source d'énergie pour la culture de semences, de légumes.

Les principaux centres de production se trouvent à Tianpin où l'on compte 190 puits productifs à plus de 30°C, dont 40 à plus de 50°C pour une profondeur moyenne de 800 m et un débit total de l'ordre de 5 000 m³/h.

A Pékin, 14 puits à une profondeur de 1 000 m exploitent un réservoir calcaire produisant 1 000 m³/j d'eau à 50°C en moyenne.

Les villes de Yicha, Xia Otungsun, Kuming et Xian sont également dotées d'installations.

Des applications de la géothermie sont également connues en AUSTRALIE, où 3 puits produiraient de l'eau pour des applications domestiques et industrielles. Près de Traralgen, dans le bassin de Gippland, de l'eau à 68°C et à une profondeur de 600 m est utilisée pour la fabrication du papier.

D'autres applications sont également signalées en AUTRICHE (chauffage de locaux et serres), au CANADA (chauffage de 20 000 m² de locaux universitaires), en TCHÉCOSLOVAQUIE (serres, locaux), ROUMANIE (chauffage de 1 500 logements, 3 hectares de serres).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AN (K.S.), HUANG (S.Y.) - Geothermal resources in China - Revue de l'Institut Français du Pétrole, vol XXXV, n° 3, p. 449-460.
- (2) CAI YIHAN - Present status of the utilization of geothermal energy in the people's republic of China - Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, vol. 7, n° 1, 1982, p. 12-18
- (3) Faisabilité technique et économique de la géothermie basse énergie en Europe - 1980
Rapport B.R.G.M. n° 80 SGN 826 GTH
- (4) Projets de démonstration dans le domaine de l'énergie géothermique - Bruxelles - Strasbourg : Commissions des Communautés Européennes, 1982
- (5) SEKIOKA (M.) - A preliminary report on the heat load in direct utilization of geothermal energy in Japon - Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, vol. 7, n° 1, 1980, p. 3-5
- (6) TEN DAM (A.) - Geothermal developments in western Europe - Geothermal Energy, vol. 9, n° 9, 1981, p. 6-9
- (7) UNGEMACH (P.) - Le développement de la géothermie en Europe - Le Moniteur, 2 nov. 1981, p. 32-37

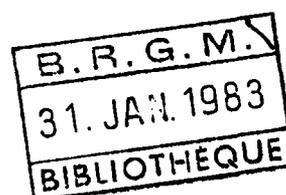
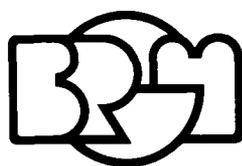
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01

LA GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE

ÉVALUATION DE SA CONTRIBUTION AU BILAN ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS



Département géothermie

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01

Rapport du B.R.G.M.

82 SGN 927 GTH

Novembre 1982

RESUME

Sur proposition du Comité Géothermie, le Ministère de l'Industrie a confié au BRGM, en novembre 1981, une étude dont l'objet est d'apprécier la contribution possible de la géothermie basse température au bilan énergétique français.

Ce travail a été conduit par le département géothermie du BRGM en concertation permanente avec le Comité Géothermie et avec de nombreux experts en matière de géothermie, de chauffage, et d'urbanisme. Les résultats en ont été présentés et discutés lors d'une réunion organisée par l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie le 7 octobre 1982.

Après un bref descriptif des ressources géothermiques, en l'état actuel de leur connaissance, les utilisations possibles de la géothermie sont présentées,

Elles concernent les besoins énergétiques basse température, soit, en 1980, de l'ordre de 55 Mtep /an, dont 44 Mtep pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des secteurs résidentiel et tertiaire, 10 Mtep dans l'industrie et 1 Mtep dans l'agriculture.

Plusieurs approches, de nature et selon des hypothèses très différentes, ont été utilisées pour cerner la contribution énergétique de la géothermie à moyen terme. Elles convergent assez remarquablement.

Compte-tenu de la nécessité d'une bonne adéquation entre ressource et besoins, à la fois en niveau de température et en localisation géographique, il ressort qu'à moyen terme (1990), la géothermie ne peut pas représenter une contribution supérieure à 2,4 Mtep/an, dont 80 % sont localisés dans le Bassin Parisien, et 72 % dans la seule région Ile de France.

La prise en compte des facteurs qui conditionnent le développement de la géothermie, l'état actuel des réalisations (25 installations en service à fin 1982, soit une économie annuelle de 52000 Mtep).

Le rythme actuel de ces réalisations (une quinzaine d'installations par an, soit 0,35 Mtep/an en 1990 si ce rythme reste constant), nous a amené à proposer, comme conclusion, deux scénarios possibles pour le développement de la géothermie :

.../...

Un scénario gris

- . Les problèmes énergétiques perdent leur caractère prioritaire ; dans les années qui viennent, le marché pétrolier reste détendu et contrôlé par les acheteurs ;
- . les autres énergies (gaz, charbon, électricité) sont particulièrement incitatives, compétitives et la concurrence sauvage joue partout ;
- . les Pouvoirs publics se désengagent progressivement de la géothermie en réduisant le niveau de risque couvert, en atténuant les mesures incitatives et en limitant les réalisations aux régions dont le sous-sol est connu ;
- . la géothermie dessert surtout des utilisateurs dans le secteur résidentiel et le parc des HLM constitue le plus gros utilisateur, puisque le CNET-HLM évalue à 100 000 par an le nombre de logements dont le mode de chauffage doit être converti, dont 30 000 vers la géothermie (1,4 million de logements HLM sont actuellement chauffés au fuel).

Dans ces conditions, la contribution énergétique de la géothermie se situera aux environs de 0,4 Mtep/an en 1990 dont 90 % en Ile de France. A horizon plus lointain, elle pourrait atteindre 0,5 à 0,6 Mtep.

Un scénario rose

- . la maîtrise du système énergétique reste un domaine prioritaire,
- . la concurrence est suffisamment harmonisée pour que, à conditions économiques équivalentes, le choix ne soit pas en faveur de la solution la moins coûteuse en investissement si celle-ci conduit à ne pas utiliser les ressources géothermiques locales,
- . les Pouvoirs publics poursuivent et développent une action vigoureuse en faveur des énergies de substitution, des réseaux et notamment de la géothermie,
- . les applications de la géothermie sont diversifiées : vers les ressources à basse température et pour plus d'usages, dans des secteurs résidentiel, tertiaire, mais aussi agricole et industriel.

Dans ces conditions, la contribution énergétique de la géothermie se situera aux environs de 0,8 Mtep/an en 1990, dont cent à cent cinquante mille tep/an à partir de ressources peu profondes. La plus grosse part de ces 0,8 Mtep-de l'ordre de 80 %- est située dans le Bassin parisien et notamment en Ile de France. Les autres régions participent aussi, mais plus modestement à ce développement. A horizon plus lointain, la contribution de la géothermie pourrait dépasser le million de tep économisée chaque année.

.../...

Le rôle des Pouvoirs publics est, dans cette affaire, tout à fait déterminant.

Le caractère national des ressources géothermiques, qui libère des contraintes extérieures de fluctuations de prix et des incertitudes d'approvisionnement, la nécessité, à terme, de mobiliser toutes les sources d'énergie, même celles dont la contribution est modeste, la fiabilité technique et la compétitivité économique de la géothermie sont autant d'arguments en faveur de cette forme d'énergie.

Aussi, et pour conclure nous recommandons :

1. d'adopter un objectif ambitieux, mais réaliste, de 0,8 Mtep d'économie annuelle pour la géothermie en 1990,
2. de renforcer le dispositif ou d'engager les actions nécessaires au développement harmonieux de la géothermie sur les plans :
 - financier : atténuation de l'effet capitalistique qui conduit, à performances économiques identiques, l'utilisateur à préférer les systèmes peu coûteux en investissement et coûteux en exploitation,
 - géologique : conserver un système de prise en charge du risque par l'Etat (ou par mutualisation), et engager des actions de reconnaissance des ressources mal connues dont l'enjeu énergétique est intéressant,
 - technique : favoriser la mise au point de l'utilisation des basses températures et préconiser l'emploi d'émetteurs adaptés notamment dans les cas où le recours à la géothermie peut être planifié à court ou moyen terme.
 - énergétique : harmoniser suffisamment la concurrence et éviter que des décisions ponctuelles ne stérilisent des ressources utilisables ; il s'agit ici de PLANIFICATION, au niveau national, mais aussi au niveau local ; diversifier les applications de la géothermie vers tous les secteurs ; montrer l'exemple en développant l'utilisation de la géothermie pour le chauffage du patrimoine immobilier des administrations.

Toutes ces actions nécessaires au développement de la géothermie, le sont aussi, pour l'essentiel, au développement des réseaux de chaleur.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	1
CHAPITRE I - <u>LES RESSOURCES GEOTHERMIQUES</u>	2
CHAPITRE II - <u>LES UTILISATIONS DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES</u>	8
CHAPITRE III - <u>LA CONTRIBUTION DE LA GEOTHERMIE</u> <u>AU BILAN ENERGETIQUE</u>	16
III.1. - EVALUATION DE J. LAVIGNE	16
III.2. - EVALUATION PAR LA METHODE IEJE	18
III.2.1. - Les hypothèses et la méthode	19
III.2.2. - Modification des hypothèses de l'IEJE	20
III.2.3. - Résultats	22
III.3. - EVALUATION A PARTIR DES INVENTAIRES DEPARTEMENTAUX OU REGIONAUX	25
III.4. - EVALUATION PAR CONFRONTATION DES RESSOURCES ET DES BESOINS DETERMINES A PARTIR DE LA STRUCTURE DE L'HABITAT	28
<u>CONCLUSION</u>	38

INTRODUCTION

Sur proposition du Comité Géothermie, le Ministère de l'Industrie a confié au BRGM, en novembre 1981, une étude dont l'objet est d'apprécier la contribution possible de la géothermie basse température au bilan énergétique français. Ce travail a été conduit en concertation permanente avec le Comité Géothermie.

Le rapport d'étude comporte d'une part une note de synthèse qui présente la démarche adoptée, les principaux résultats et les conclusions, et, d'autre part, des annexes techniques.

La note de synthèse, dans un premier chapitre, brosse un tableau de l'état des connaissances sur les ressources basse température. Le second chapitre décrit les utilisations possibles de la géothermie, l'état actuel des réalisations françaises, les besoins énergétiques que la géothermie peut satisfaire et donne quelques indications sur les coûts. Le troisième et dernier chapitre présente les diverses évaluations qui constituent le corps du travail réalisé et permettent de déboucher sur des conclusions.

Cinq annexes sont jointes à cette note de synthèse :

- les ressources, état actuel des connaissances ;
- évaluation de la contribution énergétique de la géothermie en 2 000 par la méthode IEJE ;
- synthèse des inventaires géothermiques ;
- évaluation de la contribution de la géothermie par confrontation des ressources et des besoins, évalués à partir de la structure de l'habitat en 1990 ;
- le développement de la géothermie basse température dans le monde.

CHAPITRE I - LES RESSOURCES GEOTHERMIQUES

Les ressources géothermiques sont classiquement identifiées selon leur niveau de température, c'est-à-dire aussi selon l'usage qui peut en être fait : utilisation directe des calories ou production d'électricité. On s'intéresse ici aux ressources à basse température, dont seul un usage thermique peut être envisagé, à l'exclusion des sources thermales, très ponctuelles, et des ressources à haute température que pourraient offrir éventuellement le Massif Central et certainement les départements et territoires français d'Outre-Mer.

La recherche pétrolière menée dans le sous-sol français depuis 1950, au moyen de nombreuses campagnes géophysiques et de plus de 5 000 forages, a permis de reconnaître en profondeur les bassins sédimentaires, les fossés d'effondrement et les avant-pays des grandes chaînes de montagne.

Or, la législation minière française met dans le domaine public dès la fin des forages les renseignements géologiques et, après 10 ans, les données sismiques. Ainsi, grâce à ces renseignements provenant pour l'essentiel de la recherche pétrolière, ont été réalisés à partir de 1974 l'identification et l'évaluation du potentiel géothermique des grands gisements français (fig.1).

Par la suite, des inventaires du potentiel géothermique ont été réalisés selon des limites administratives pour un certain nombre de régions et de départements (fig.2).

La réalisation de ces travaux pose un problème de méthode. En effet, la finalité des données disponibles n'est que rarement la géothermie mais est le plus souvent l'exploration des hydrocarbures, dont les réservoirs peuvent être distincts des réservoirs géothermiques.

Par contre, les reconnaissances géothermiques, l'exploitation pétrolière et les travaux de stockage souterrain de gaz fournissent des données d'une bonne précision.

Cette disparité dans la qualité et dans la densité géographique des données rend délicat l'établissement de documents synthétiques homogènes.

C'est néanmoins avec un grand souci de cohérence et d'homogénéité que l'ensemble des travaux disponibles a été repris et complété par les données les plus récentes. Pour chaque entité géologique, les réservoirs géothermiques potentiels* ont été identifiés, les caractéristiques de ces réservoirs ont été quantifiées (extension, nature, température, transmissivité -ou productivité), mais aussi une appréciation a été portée sur le degré de connaissance de ces réservoirs.

* Il s'agit de réservoirs ayant fait l'objet d'études géothermiques et dont la température est généralement supérieure à 30°C.

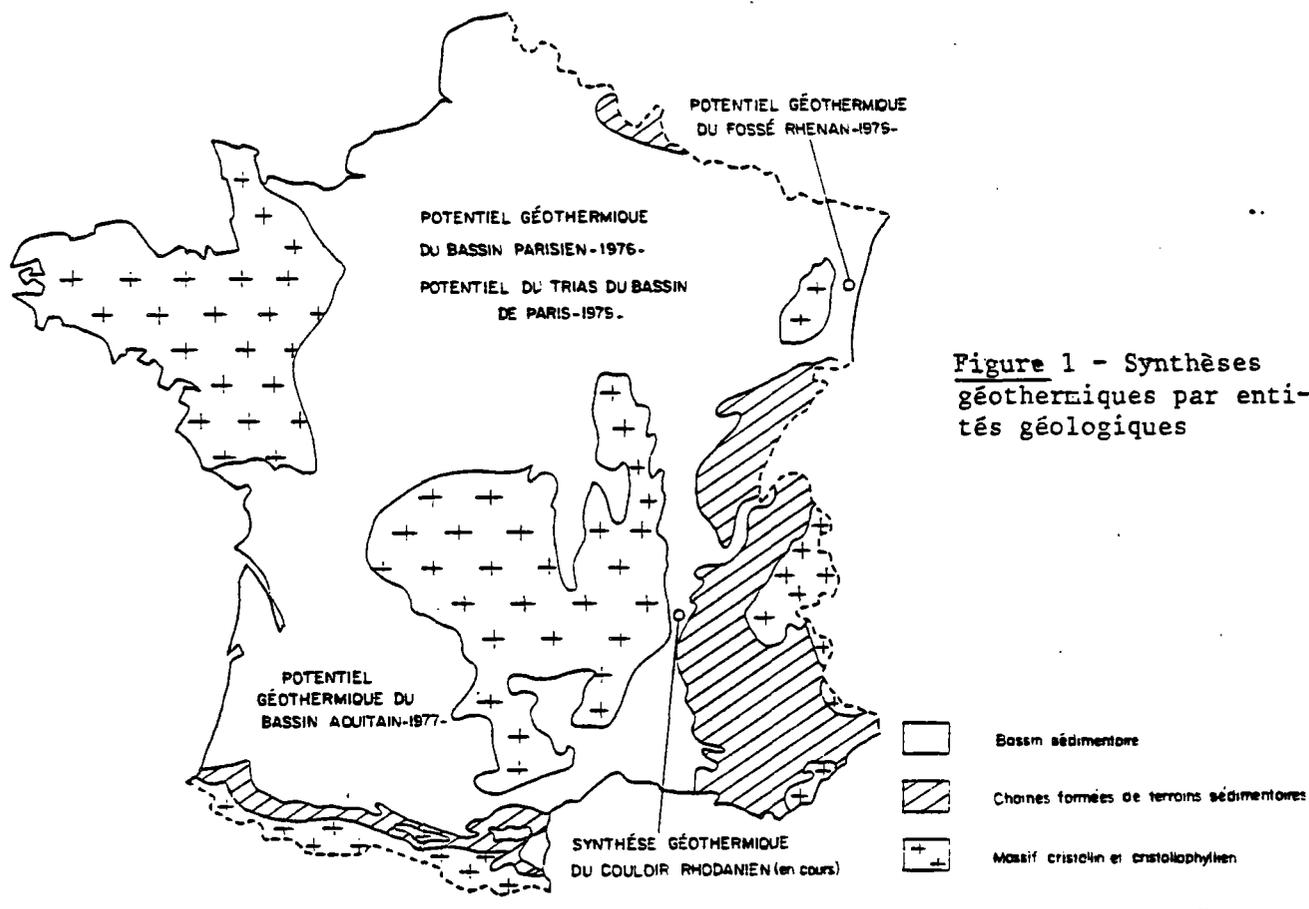
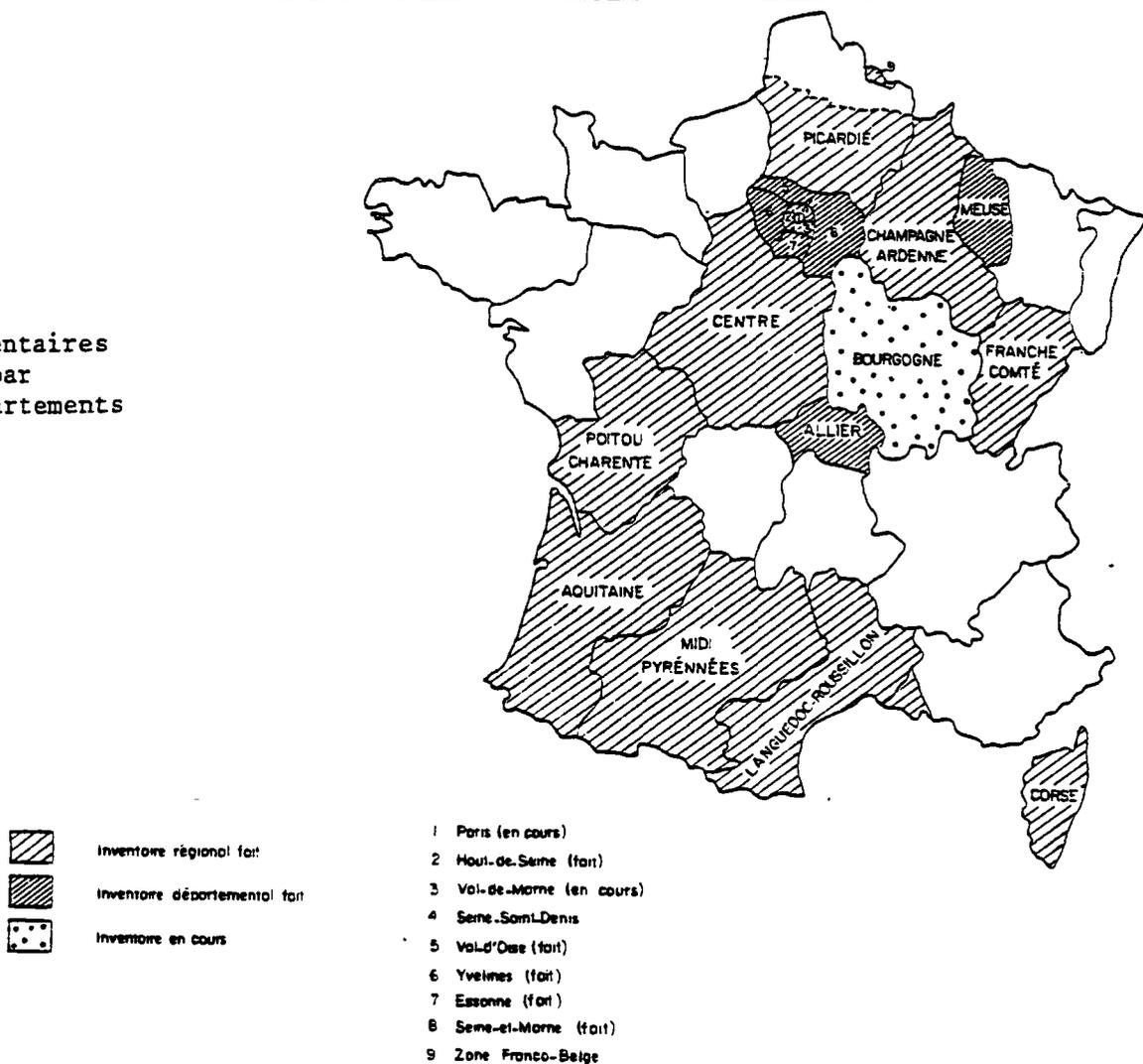


Figure 1 - Synthèses géothermiques par entités géologiques

Figure 2 - Inventaires géothermiques par régions ou départements



Le degré de connaissance est en effet fonction de la nature des reconnaissances effectuées (forages géothermiques, forages pétroliers, campagnes géophysiques), et de leur densité. Il a été distingué trois niveaux de connaissance : bon, moyen et faible.

Ce travail a conduit à l'élaboration de nombreuses cartes et à une description synthétique des ressources géothermiques (fig.3) (Annexe 1).

Le tableau 1 reprend très succinctement chacune des régions examinée et dans chacune d'elle, les réservoirs étudiés.

En l'état actuel de nos connaissances, on est amené à conclure que l'essentiel du potentiel géothermique est situé dans les deux grands bassins sédimentaires français : le Bassin Parisien et le Bassin Aquitain.

Dans chacun de ces bassins, plusieurs réservoirs peuvent constituer des cibles géothermiques dans des gammes de température qui vont parfois jusqu'à plus de 100°C.

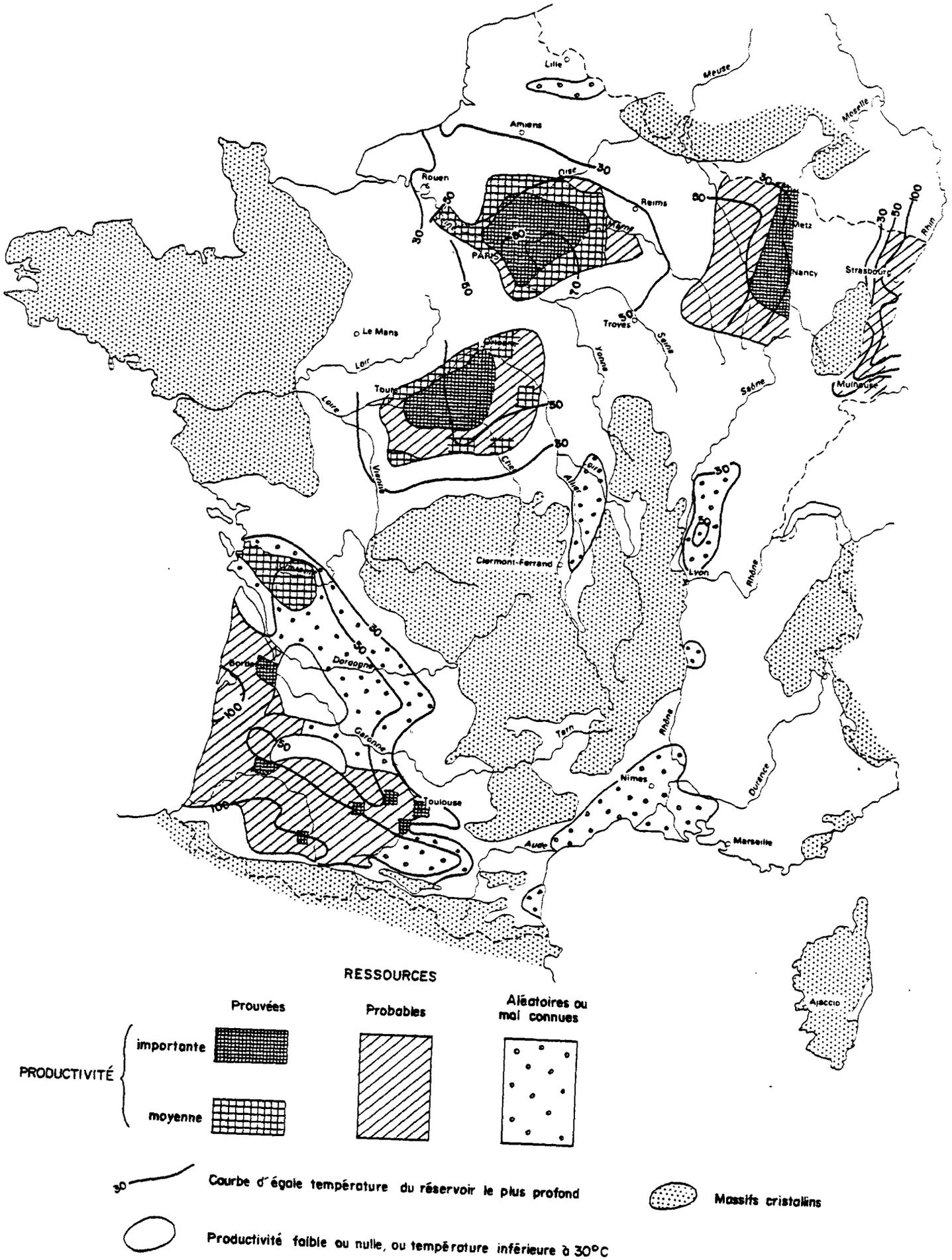
Dans le Bassin Parisien, le Dogger constitue la cible géothermique privilégiée du fait de productivités élevées sur une grande partie de son étendue. De plus, c'est l'aquifère qui est, comparativement aux autres, le mieux connu et donc, les risques géologiques y sont relativement faibles. Le Trias présente sur de grandes étendues des potentialités, notamment en Lorraine où le Dogger n'est pas intéressant. Il demeure toutefois moins connu que le Dogger. Le Lusitanien, bien que peu reconnu et moins profond, donc moins chaud, peut offrir localement des cibles géothermiques intéressantes. La figure 4 ci-après récapitule les superficies où les aquifères présentent des productivités bonnes ou moyennes ainsi que le degré de connaissance qui leur est lié.

Dans le Bassin Aquitain, les aquifères intéressants pour la géothermie sont nombreux et inégalement connus. La figure 5 présente les deux aquifères qui ont été les cibles de pratiquement toutes les opérations de géothermie en Aquitaine : l'Eocène et le Crétacé supérieur. Ces aquifères couvrent de grandes étendues et sont inégalement connus.

La valorisation du potentiel géothermique des autres régions (Alsace, Sud-Est, Couloir Rhodanien, Franche-Comté, Limagne, façade méditerranéenne...) implique la mise en place de stratégies et de techniques particulières relevant de l'exploration.

En effet, ces régions sont géologiquement complexes et, de plus, n'ont pas fait l'objet de reconnaissances intenses, comme les autres régions : les ressources géothermiques y sont en général mal connues. Aussi, alors que le taux de succès des forages géothermiques dépasse 95 % dans le Bassin Parisien et 85 % dans le Bassin Aquitain, la plupart des forages réalisés dans les autres régions n'ont pas donné les résultats attendus.

Figure 3 - Carte de synthèse des ressources géothermiques



BASSIN DE PARIS	BASSIN AQUITAIN	ALSACE	AUTRES REGIONS
<u>ALBIEN</u> jusqu'à plus de 40°C, non pris en compte, protégé	<u>EOCENE</u> jusqu'à 1 000 m et 50°C étendu, bien connu	<u>MALM</u> au sud, jusqu'à plus de 90°C, peu connu et aléas (fractures)	<u>HAINAUT</u> (Nord) objectif localisé, mais intéressant extension et caractéristique mal connues
<u>NEOCOMIEN</u> jusqu'à plus de 40°C, non pris en compte, études en cours	<u>PALEOCENE-DANIEN</u> au Sud, jusqu'à 2 500 m et 80°C mal connu et aléas (karst)	<u>GRANDE OOLITHE</u> jusqu'à 2 500m et plus de 100°C, sud de Strasbourg, potentiel intéressant, mais peu connu aléatoire et peu étendu	<u>POITOU-CHARENTE</u> potentiel limité et peu connu
<u>LUSITANIEN</u> jusqu'à 1 500 m et 64°C, centre du bassin potentiel intéressant, peu connu	<u>CRETACE SUPERIEUR</u> exploité à Dax et Mont-de-Marsan (dolomies karstifiées) et Bordeaux (sables) un des principaux objectifs du Bassin	<u>MUSCHELKALK SUP.</u> jusqu'à 2 300 m et 150°C, très mal connu, objectif limité	<u>ALLIER</u> potentiel faible, peu connu
<u>DOGGER</u> jusqu'à 1 800 m et 85°C, centre du bassin aquifère profond le mieux connu, déjà exploité ; objectif géothermique principal	<u>CRETACE INFERIEUR</u> de 2 000 m à 6 000 m, imbrication complexe d'aquifères	<u>BUNTSANDSTEIN</u> jusqu'à 3 000 et 150°C, existe dans toute l'Alsace, objectif intéressant mais peu connu	<u>FRANCHE COMTE</u> potentiel limité températures peu élevées, structure complexe
<u>TRIAS</u> jusqu'à 1 900 m & 80°C Lorraine, Orléanais et région parisienne, objectif géothermique intéressant mais peu connu	<u>JURASSIQUE SUP. & MOYEN</u> important potentiel géothermique, mais absence d'informations précises sur la productivité		<u>LANGUEDOC-ROUSSILLON</u> géologie très complexe, peu connu
	<u>LIAS MOYEN</u> objectif intéressant car température élevée, mais peu connu		<u>PROVENCE-CÔTE D'AZUR</u> structure complexe, risque important, peu connu
	<u>LIAS INF. TRIAS</u> objectif intéressant (80°C) dans le Nord, mais peu connu		<u>COULOIR RHODANIEN</u> potentiel limité, risque élevé
			<u>CORSE</u> p.m.

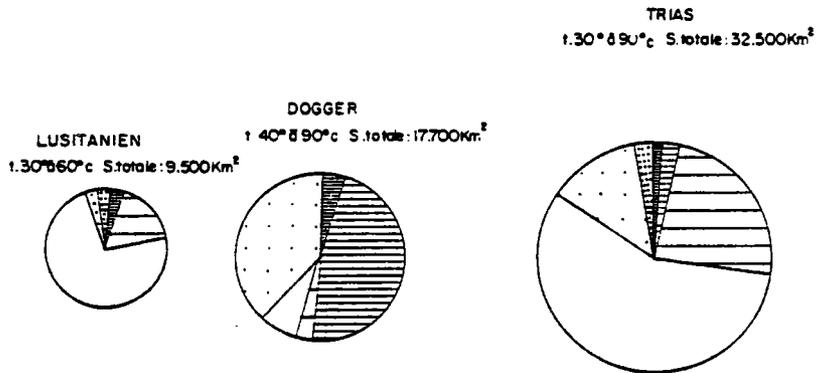
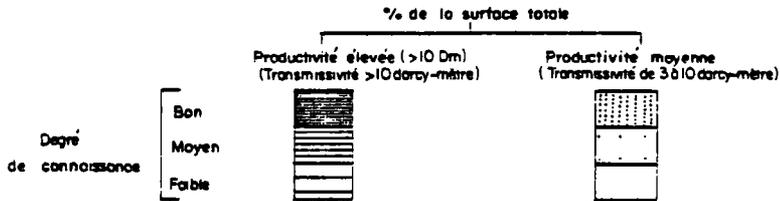


Figure 4 - Qualité et degré de connaissance des trois principaux réservoirs du Bassin parisien



EOCENE
T. 20° à 55°c S. totale: 38600Km²

CRETACE SUPERIEUR
T. 30° à 60°c S. totale: 27100Km²

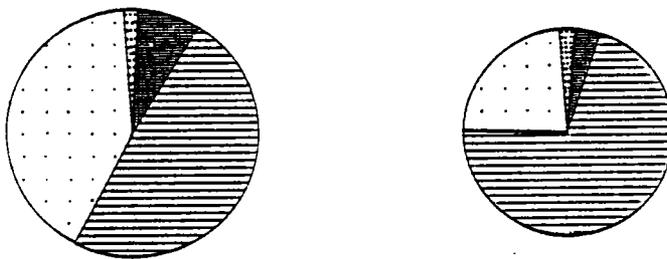


Figure 5 - Qualité et degré de connaissance des 2 principaux réservoirs du Bassin aquitain



CHAPITRE II - LES UTILISATIONS DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES

Exemples d'utilisation :

Mise à part la brève expérience de Carrière-sur-Seine au début des années soixante, la première opération française est celle de Melun l'Almont qui permet, depuis 1970, de chauffer en base et de fournir l'eau chaude sanitaire (ECS) aux 3 000 logements qui sont raccordés au doublet. A fin 1982, 25 installations seront en service et permettront d'économiser de l'ordre de 52 000 tep par an (tableau 2). Dix-sept installations seront entrées en service au cours de l'année 1982. Deux installations desservent exclusivement des serres (Melleray près d'Orléans et Lamazère) et l'économie attendue est de l'ordre de 7 500 tep.

Pour le reste, il s'agit essentiellement de fourniture de chaleur (chauffage et ECS) au secteur résidentiel, à l'exception notoire de Coulommiers et Meaux II où des hopitaux sont desservis, et de Bruyères-le-Chatel où l'eau douce fournit ses calories pour le chauffage de locaux industriels et est ensuite utilisée en tant que telle. On rappellera qu'un projet strictement industriel a été étudié en détail à Issoudun (séchage de malts) et qu'il était particulièrement attractif sur le plan technique et économique ; pour des raisons non techniques, il n'a pu se réaliser.

En 1983, 14 opérations devraient normalement entrer en service, ce qui augmenterait d'environ 34 000 tep l'économie d'énergie par géothermie et porterait le total à 39 installations soit une économie annuelle de 85 000 tep (tableau 3).

Dans tous les cas, la distribution de la chaleur passe par un réseau. Différentes solutions sont possibles :

- un réseau neuf est créé, alimenté en base par géothermie (c'est le cas de Beauvais et d'Evry),
- un réseau géothermal est créé qui dessert des chaufferies collectives existantes (c'est le cas de Coulommiers ou de Meaux),
- un réseau géothermal est créé parallèlement à un réseau haute température existant (c'est le cas étudié à Orléans la Source),
- un réseau est créé, alimenté en base par géothermie avec appoint fourni par un réseau classique voisin (c'est le cas de projets parisiens, associant la CPCU, et de Cergy Pontoise).

Jusqu'à-là, le recours aux pompes à chaleur pour relever le niveau de température reste relativement rare (Creil, Beauvais et Bruyères-le-Châtel par exemple), car les ressources exploitées sont généralement à des températures supérieures à 50°C.

Chaque installation dessert de nombreux utilisateurs : la moyenne de l'économie annuelle par installation s'établit vers 2 400 tep (entre 1 000 et 5 000) et on peut admettre qu'une tep économisée correspond à un équivalent logement raccordé.

TABLEAU 2
INSTALLATIONS DE GEOTHERMIE EN SERVICE A FIN 1982

année de raccordement	Opérations	nombre de tep. économisées*	Cumul
1970	Melun l'Almont	1 600	1 600
1976	Villeneuve la Garenne	1 000	
	Creil	5 200	7 800
1977	Mont-de-Marsan	1 200	9 000
1978	Blagnac	900	
	Melun le Mée-sur-Seine	3 100	13 000
1980	Jonzac	410	13 410
1981	Melleray	2 500	13 910
1982	Bordeaux Mériadeck	1 500	
	Bordeaux Benauge	1 560	
	Meaux Collinet	2 180	
	Meaux Hôpital	3 370	
	La Courneuve Sud	2 000	
	Coulommiers	2 200	
	Bruyères-le-Châtel	1 500	
	Clichy-sous-Bois	2 630	
	Aulnay	3 420	
	Cergy Pontoise	2 500	
	Beauvais	1 200	
	Orly	2 910	
	Montgeron	2 300	
	Lamazère	pm	
	Dax	2 000	
	Evry	3 690	
	La Celle Saint Cloud	1 320	52 190

* pour les opérations raccordées entre 1970 et 1980, les chiffres sont les résultats des années d'exploitation. Pour les opérations raccordées en 1981 et 1982, les chiffres mentionnés sont théoriques (étude de faisabilité).

TABLEAU 3
INSTALLATIONS DE GEOTHERMIE QUI SERONT MISES EN SERVICE DURANT L'ANNEE 1983 *

opérations	nombre de tep économisées	Cumul
Reims Murigny	(500)	
Pessac	870	
Fontainebleau	1 530	
La Courneuve Nord	3 100	
Achères	(2 360)	
Sevran	4 680	
Meaux Beauval 1	5 500	
Meaux Beauval 2		
Epernay	3 670	
Ris Orangis	2 780	
Creil II	3 610	
Châteauroux	1 120	
Paris Porte St Cloud	2 390	
Blanc Mesnil Nord	2 100	
TOTAL 1983	34 210	85 080

* on a considéré qu'une installation de géothermie pouvait être mise en service entre 1 & 1,5 an après le début des forages, sous réserve d'un déroulement normal des travaux.

Les opérations de Blanc Mesnil Nord, Chatenay Malabry, Tremblay les Gonesse et Vaux le Pénil devraient être raccordées fin 1983 ou tout début 1984.

TABLEAU 4

CONSOMMATION ENERGETIQUE DES DIFFERENTS SECTEURS, EN MTEP

	1962	1973	1978	1980	1990	
					A	B
Secteur résidentiel	16,7	38,2	42,5	41,2		
dont chauffage	12,7	27,8	27,1	24,9		
ECS		4,0	5,9	6,2		
Secteur tertiaire	6,2	18,0	20,3	19,9		
dont chauffage)		10,5	10,6	9,8		
ECS)	4,1	1,8	2,6	2,6		
Total en résidentiel et tertiaire	22,9	56,6	62,7	61,1	88,5	77,0
Industrie et sidérurgie	39,3	61,1	61,2	62,4	79,0	81,0
Agriculture	1,4	2,9	3,0	2,9	4,0	3,2
Transport	14,9	31,9	35,4	35,9	46,4	43,7
Consommation finale	78,5	152,5	162,3	162,3	218,1	204,9
Consommation primaire *	96,4	178,2	184,9	189,9	242,0	232,0

(d'après doc.AEE)

(A) prévision VIIIème Plan

(B) prévisions plan intérimaire

(*) cons. primaire = cons. finale + cons. du secteur énergie + pertes

Trente deux dossiers d'opérations en cours de réalisation ou d'étude ont été analysés, desquels il ressort, pour autant que cet échantillon soit représentatif, que

- 60 % des utilisateurs raccordés sont des logements existants,
- 10 % des utilisateurs raccordés sont des logements neufs,
- 30 % des utilisateurs raccordés sont du secteur tertiaire (ou agricole et industriel).

Les besoins en énergie que la géothermie peut satisfaire, et leur évolution :

L'application la plus évidente de la géothermie concerne bien sûr la fourniture de chaleur dans le secteur résidentiel, principalement celui des immeubles collectifs. Viennent ensuite : la fourniture de chaleur au secteur résidentiel, le chauffage des serres et l'utilisation de la chaleur géothermale dans des process industriels basse température.

Le tableau 4 donne quelques chiffres sur l'évolution des consommations énergétiques dans les différents secteurs, et les prévisions du VIII^e Plan, ainsi que celles élaborées pour le plan intérimaire, paru en début 1982, qui font suite à divers travaux (rapports Hugon et Quilès, débat parlementaire sur l'énergie en octobre 1981).

La part du chauffage et de l'ECS en résidentiel et tertiaire représente donc en 1980 près de 27 % des besoins finaux, soit 43,5 Mtep, et devrait encore représenter de l'ordre de 25 % des besoins finaux en 1990.

Pour ce qui est des serres, on peut retenir les chiffres présentés dans le tableau 5, avec une consommation totale de l'ordre du million de tep par an.

TABLEAU 5

LES SERRES AGRICOLES EN FRANCE (valeurs très approximatives)

	serres maraîchères	serres horticoles
surface totale (ha)	5 000	2 000
surface chauffée (ha)	1 700	1 000
surface peu chauffée (ha)	1 700	
consommation d'énergie (Mtep)	0,70	0,35
construction neuves (ha/an)	100	100

(d'après CTIFL et CNIH)

Dans l'industrie, l'utilisation de calories à basse température est très variable selon les branches d'activité. Très peu de données sont disponibles sur les quantités d'énergie consommées en fonction du niveau de température. Une estimation est proposée par PROMOCAL : l'équivalent de 10 Mtep est consacré à des usages basse température et 16 Mtep à la production de vapeur.

Une exploitation des données du CEREN a été envisagée et aurait pu conduire à une localisation géographique assez fine des consommations d'énergie dans l'industrie, ventilées par niveaux de température, mais les délais et les coûts de ce travail sortaient très largement du cadre de la présente étude.

Pour illustrer la répartition de l'énergie consommée dans l'industrie en fonction de la température, on rapporte ici (figure 6) deux schémas relatifs, l'un à l'Allemagne fédérale (1973), l'autre aux USA (1977).

Pour l'Allemagne, la proportion des besoins en énergie finale pour les traitements thermiques varie considérablement dans les différentes plages de températures des procédés. Deux maxima très nets se situent entre 100°C et 200°C et entre 300°C et 400°C. Les besoins inférieurs à 100°C (4,5 Mtep) représentent environ 6 % du total.

Pour les USA (1 000 °F = 537 °C, 2 000 °F = 1 093°C), les besoins à température inférieure à 100°C représentent de l'ordre de 8 % de l'ensemble des besoins.

Sans accorder une très grande signification à ce chiffre, on peut donc conclure que, pour la France, les besoins en énergie basse température s'établissent au plus vers 55 Mtep en 1980, dont 80 % dans le secteur résidentiel et tertiaire. C'est pour satisfaire une partie de ces besoins que la géothermie peut intervenir.

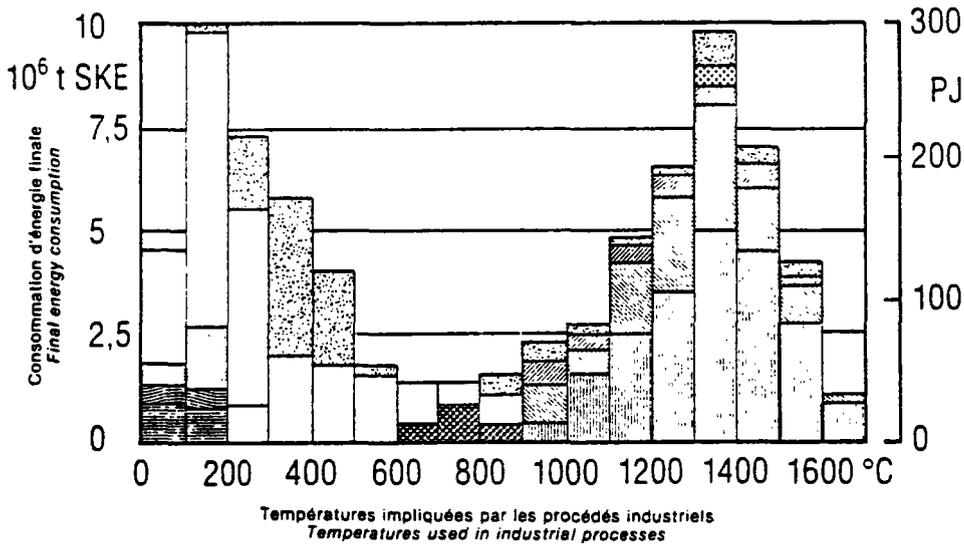
L'annexe 5 présente l'état des réalisations et les perspectives de développement de la géothermie basse énergie dans le monde. On y constate une grande diversité des usages dans les secteurs agricoles et industriels.

Le coût de la géothermie :

Le nombre de projets à l'étude et surtout les réalisations en cours, ou les installations en fonctionnement prouvent que, dans les conditions actuelles de coût et de financement, la géothermie est choisie dans de nombreux cas, en concurrence avec d'autres sources d'énergie.

Deux études ont été réalisées par le BRGM pour le Comité Géothermie en 1980 et en 1981 pour déterminer les coûts de la géothermie.

Les principales conclusions sont que, dans la quasi totalité des cas, le recours à la solution géothermique satisfait le critère de rentabilité économique.



1973 : Utilisation globale d'énergie finale 76.6 . 10⁶ t SKE
 1973 : Total use of final energy 76.6 . 10⁶ t SKE

- | | | | | | |
|--|--|--|---------------------------------------|--|--|
| | Industrie sidérurgique et EST
Iron steel industry and EST | | Verre/Céramique
Glass/Ceramics | | Aluminium
Aluminium |
| | Produits de carrière et de dragage
Quarry dredging products | | Papier, cellulose
Paper, cellulose | | Métaux non ferreux
Non-ferrous metals |
| | Chimie
Chemicals | | Textiles
Textiles | | |
| | Sucre
Sucre | | Autres industries
Other industries | | |

Source : Prof. Schaefer TU Munich
 Source : Prof. Schaefer TU Munich

Figure 6a - Répartition de la consommation d'énergie dans l'industrie en RFA en 1973*

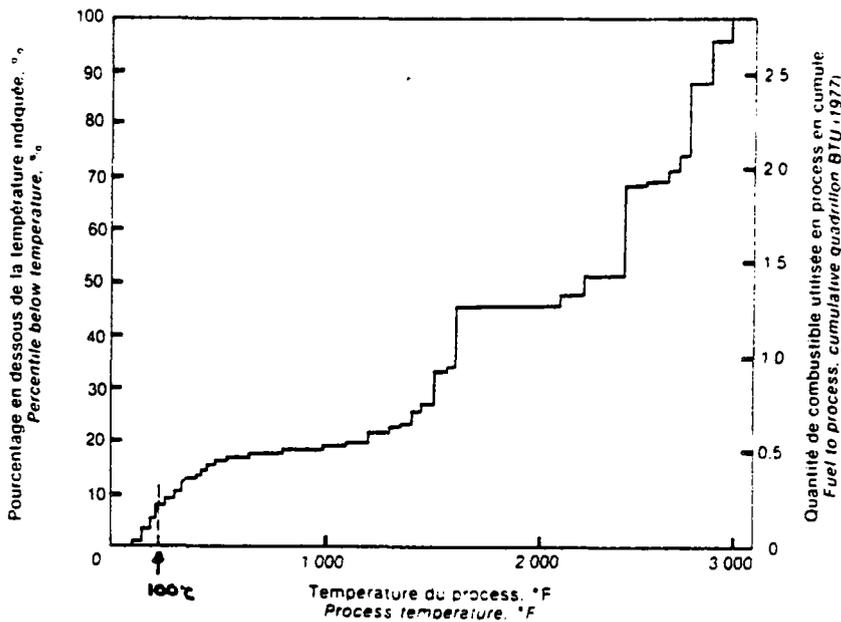


Figure 6b - Répartition cumulée de la consommation de combustible dans des process utilisant directement la chaleur comparée aux températures des process, aux USA, 1977.*

* électricité et industrie, Revue de l'énergie, mai-juin 1982

En effet, variable selon les circonstances d'accès à la ressource et de desserte des utilisateurs, le prix de revient de la géothermie* se situe néanmoins à un niveau compétitif par rapport au combustible fossile qu'elle remplace.

En 1981, et pour 28 cas étudiés, le prix de revient de la kilothermie géothermique était inférieur :

- . au coût de la kth utile du fuel domestique dans :
 - 25 cas sur 28 sans subvention
 - 27 cas sur 28 avec subvention
- . au coût de la kth utile du gaz naturel dans :
 - 18 cas sur 28 sans subvention
 - 22 cas sur 28 avec subvention
- . au coût de la kth utile du fuel lourd ou du charbon dans :
 - 7 cas sur 28 sans subvention
 - 20 cas sur 28 avec subvention.

Les résultats de 1980 étaient de même nature.

Cette compétitivité est donc renforcée par le système d'aide dont bénéficie la géothermie, et qui diminue d'en moyenne 20 F/kth le prix de revient. Cette compétitivité devrait s'affirmer dans le temps si les combustibles classiques, et notamment les hydrocarbures, connaissent la hausse de prix envisagée par le "scénario gris" de la Commission de l'Energie du VIIIe Plan, à savoir : multiplication par 2 d'ici 1990 pour fuel et gaz et multiplication par 1,35 pour charbon, en francs constants.

Il convient néanmoins de rappeler que cette compétitivité des opérations ne tient pas compte des échecs, intégralement supportés par l'Etat.

En toute rigueur, le calcul du prix de revient économique devrait en effet prendre en considération les sommes consacrées aux échecs. Cela alourdirait la charge de l'amortissement .

Notons enfin que les maîtres d'ouvrage ne se décident généralement pas en fonction du seul critère économique. Dans la plupart des cas, le maître d'ouvrage-collectivité locale vérifiera que les ressources qu'il peut espérer d'une facturation "raisonnable" de la chaleur sont chaque année supérieures ou égales à la somme des coûts d'exploitation, des remboursements d'emprunts et des charges financières.

* prix de revient économique (taux d'actualisation de 9 %) de la kilothermie fournie par géothermie qui vient se substituer à la kth PCS du combustible fossile et en évite l'achat.

Dans tous les cas, la charge d'investissement est prépondérante dans le prix de revient, et en constitue de l'ordre de 60 % à 90 %, se répartissant grossièrement pour moitié entre travaux de sous-sol et travaux de surface.

L'évolution des coûts d'investissement n'est pas directement liée à celle des coûts de l'énergie. Des améliorations techniques sont possibles pour les diminuer. Ils restent néanmoins soumis à des variations conjoncturelles, comme, par exemple, le marché offre-demande de machines de forages.

A la lourdeur des investissements correspondent des coûts d'exploitation bas, et donc une moindre incertitude sur l'évolution du prix de revient que dans le cas des achats de combustibles.

CHAPITRE III - LA CONTRIBUTION DE LA GEOTHERMIE AU BILAN ENERGETIQUE

Différentes évaluations du potentiel géothermique ont été effectuées antérieurement à cette étude. On rappelle, sans s'y attarder, les évaluations résolument optimistes*, qui considèrent que, partout où le sous-sol contient de l'eau, il est possible et donc il faut y recourir pour prélever les calories. Cela conduit en effet à des chiffres considérables, mais peu réalistes. On rappellera rapidement l'évaluation de J. LAVIGNE, avant de présenter les travaux réalisés à l'occasion de la présente étude.

III.1. EVALUATION DE J. LAVIGNE

Une évaluation intéressante des ressources géothermiques a été réalisée en 1977 par J. LAVIGNE (Annales des Mines, avril 1978).

Le calcul le plus complet a été effectué pour le Dogger du Bassin Parisien et peut être résumé comme suit.

Ressources identifiées du Dogger : c'est l'énergie qui serait récupérée si on refroidissait le Dogger à 15°C, là où il a une température (t) supérieure à 50°C, une transmissivité (T) supérieure à 1 darcy-mètre et une épaisseur supérieure à 50 m (superficie : 15 000 km²).

$$\text{On obtient : } Q_p = 24 \cdot 10^{18} \text{ cal}$$

Réserves en place du Dogger : c'est l'énergie qui serait récupérée si on refroidissait le Dogger à 15°C, au droit des 2 000 km² urbanisés (ou en voie de l'être), à l'intérieur d'un périmètre Compiègne - Meudon - Melun - Epernay. (Surface totale : 8 000 km², t ≥ 60°C, T ≥ 5 d.m).

$$\text{On obtient : } Q'_p = 6 \cdot 10^{18} \text{ cal}$$

Réserves récupérables du Dogger : on tient compte des techniques actuelles d'exploitation par doublet des ressources : la température d'injection est prise égale à 40°C.

Le calcul conduit alors à une évaluation de l'énergie techniquement récupérable au droit des 2 000 km² définis ci-dessus.

$$\text{On obtient : } Q_r = 10^{18} \text{ cal}$$

soit l'équivalent de 100 Mtep ou encore la production de 3,3 Mtep pendant 30 ans.

Des calculs analogues ont été effectués, soit en détail, soit plus approximativement pour les autres aquifères du Bassin parisien et pour les autres régions (tableau 6).

* Exemple : dans l'ouvrage "l'Energie", (Bordas, 1981), H. TAZIEFF affirme que la géothermie pourrait permettre d'assurer le chauffage "des 6/10 du territoire".

TABLEAU 6

POSSIBILITES DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES FRANCAISES

RESULTATS DE J. LAVIGNE

	Ressources identifiées (10 ¹⁸ cal)	Réserves en place (10 ¹⁸ cal)	Réserves récupérables	
			(10 ¹⁸ cal)	Mtep/an pendant 30 ans
BASSIN PARISIEN	66,6	7,2	1,2	4
<i>Lusitanien</i>	5			
<i>Dogger</i>	40	6	1	3
<i>Lias</i>	0,6			
<i>Trias</i>	21			
AQUITAINE	302,4	3	0,5	1,7
<i>Eocène</i>	2,4			
<i>Dano-Paléocène</i>	33			
<i>Crétacé supérieur</i>	37			
<i>Crétacé inférieur</i>	135			
<i>Jurassique supérieur</i>	84			
<i>Trias</i>	11			
ALSACE	13	0,6	0,1	0,3
<i>Dogger</i>	1,7			
<i>Trias</i>	11,3			
TOTAL	382	10,8	1,8	6

Les ressources identifiées les plus importantes sont localisées en Aquitaine, mais généralement en-dehors des zones urbanisées. C'est pourquoi un facteur 1/100 a été utilisé pour passer des ressources aux réserves en place.

L'Alsace est en position intermédiaire et le facteur 1/20 a été utilisé.

Au total, le chiffre de 6 Mtep/an récupérables pendant 30 ans est proposé, dont 4 dans le Bassin parisien (et dont 3 pour le Dogger), 1,7 en Aquitaine et 0,3 en Alsace. Les autres régions, moins bien connues, ne font pas l'objet d'évaluation (Bresse, Limagne, Couloir rhodanien et midi méditerranéen). Ce résultat permet à l'auteur de conclure que l'objectif de 1 Mtep en 1985 retenu par le VIIème Plan est compatible avec nos ressources, et pourrait même être relevé pour autant que des obstacles financiers, administratifs, législatifs et techniques soient surmontés.

Ce travail soulève une remarque fondamentale.

Des réserves récupérables ont été calculées, dont la moitié par un raisonnement détaillé (Dogger du Bassin parisien). Le passage des réserves récupérables à la contribution énergétique de la géothermie n'est pas abordé. Les contraintes techniques et économiques de la distribution et de l'utilisation de la chaleur n'ont pas été quantifiées. Il n'est donc pas possible d'apprécier, à partir du résultat de 6 Mtep pour les réserves récupérables, la pertinence du chiffre de 1 Mtep retenu comme objectif à moyen terme.

Toutefois, et malgré un choix prudent des températures de rejet (40°C pour le Dogger), on peut surtout retenir du travail de J.LAVIGNE deux conclusions qui restent valables aujourd'hui :

- la notion de réserve récupérable conduit à une borne supérieure de l'énergie que peut fournir la géothermie. Ce maximum n'est donc pas supérieur à 10 Mtep, sauf modification radicale des techniques d'exploitation ;
- le potentiel de la géothermie est surtout localisé dans le Bassin parisien (de l'ordre des 2/3), et le principal réservoir en est le Dogger.

III.2. EVALUATION PAR LA METHODE IEJE

La DATAR a confié en 1977 à l'Institut économique et juridique de l'énergie (IEJE, Grenoble), la réalisation d'une étude ENERGIE et REGIONS*, qui, parmi de nombreux autres résultats, propose une évaluation régionalisée du potentiel de développement des réseaux de chaleur à l'horizon 2000, alimentés entre autres par géothermie.

* ENERGIE et REGIONS, variantes régionalisées de demande et d'offre d'énergie en France (1985-2000) ; publié par la Documentation française, Travaux et recherches de prospectives, 1980.

Après une étude approfondie du travail de l'IEJE, une réunion de travail a été organisée pour expliciter les hypothèses retenues dans l'étude, et il en est ressorti l'intérêt de calculs nouveaux, à partir d'hypothèses modifiées. Pour permettre ce travail, l'IEJE nous a apporté un précieux concours et a rédigé une note détaillée "évaluation du potentiel de développement des réseaux de chaleur en France, par ville et par ZEAT, à l'horizon 2000" (J.P. BONAÏTI, B. BOURGEOIS et J. GIROD, Grenoble, février 1982).

L'annexe 1 d'une part reprend l'essentiel de cette note et d'autre part présente les calculs effectués avec d'autres hypothèses.

III.2.1. Les hypothèses et la méthode

L'évaluation est faite pour l'année 2000 et dans un scénario de développement socio-économique intitulé "scénario de nouvelle croissance" qui suppose, en matière d'énergie, une planification contraignante des approvisionnements énergétiques, une limitation -dans les usages à basse intensité- des formes d'énergie "noble" au profit des vecteurs énergétiques renouvelables et à basse température, et donc des réseaux de chaleur, et une responsabilisation accrue des collectivités locales, pour la valorisation des énergies locales. Tant du côté des tendances supposées concernant la demande d'énergie, que de celles concernant l'offre d'énergie, les hypothèses retenues tendent à maximiser l'utilisation des ressources et vecteurs locaux d'énergie, donc des réseaux de chaleur et de la géothermie.

Les besoins énergétiques que satisfont les réseaux sont ceux en chauffage et eau chaude sanitaire du secteur résidentiel et tertiaire. Pour cela, et dans un premier temps, a d'abord été construit le parc de résidences principales en 2000.

Compte-tenu de l'impossibilité de construire ce parc ville par ville, il a été procédé à une simulation moyenne selon un double regroupement par groupe de régions (ZEATMOD) pour tenir compte des différences climatiques et par tranches de villes réparties selon leur taille, au sein de chaque ZEATMOD.

Cinq tranches ont été distinguées : moins de 2 000, 2 000 à 20 000, 20 000 à 50 000, 50 000 à 100 000 et plus de 100 000 habitants.

Par manque de données, des hypothèses très simples ont été faites sur la surface des locaux tertiaires par habitant en fonction de la région.

A partir des besoins unitaires par type d'usage et par région, les besoins en énergie utile de chaque ZEATMOD et de chaque tranche de ville ont été construits, et ces besoins ont été ventilés par ville, au prorata de la population de la ville. Il est alors possible, en divisant ces besoins par la superficie de la commune, de calculer une densité de besoin de chaleur, exprimée en énergie utile.

Vient alors l'évaluation proprement dite des potentiels de pénétration des réseaux de chaleur.

Deux sources de chaleur ont été envisagées : la production combinée chaleur - électricité et la géothermie.

L'arbitrage entre ces deux sources a été effectué en fonction de deux critères : la population de la ville, et la densité de besoins utiles exprimée en kth par an et par hectare (cf. tableau 7).

La géothermie a été retenue pour autant qu'existe un réservoir connu, à plus de 50°C et de transmissivité supérieure ou égale à 5 darcy-mètre.

Des taux de raccordement au réseau ont été arbitrairement fixés, en fonction de la densité de besoin :

Densité	taux de raccordement
d ₀	20 %
d ₁	35 %
d ₂	55 %
d ₃	70 %

Pour la géothermie, on passe des besoins utiles raccordés au potentiel en supposant que la distribution entraîne 15 % de perte et que la géothermie assure en base 75 % des besoins.

III.2.2. Modification des hypothèses de l'IEJE

Quatre calculs supplémentaires ont été réalisés :

. Ajustement des hypothèses géologiques

Pour ce qui est des ressources géothermiques, le travail de l'IEJE se fonde sur l'état des connaissances en 1978.

Nous avons repris les calculs effectués, ville par ville, à la lumière des connaissances actuelles, ce qui a notamment pour effet d'augmenter le potentiel du Bassin parisien et du Sud-Ouest.

. Modification de l'arbitrage entre les sources de chaleur

L'hypothèse la plus déterminante sur le résultat est celle qui privilégie la production combinée par rapport à la géothermie.

C'est pourquoi, un calcul a été effectué, en donnant systématiquement la priorité à la géothermie là où des ressources existent (au sens de l'IEJE : plus de 50°C et de 5 D.m)

TABLEAU 7

REGLE D'ARBITRAGE ENTRE GEOTHERMIE ET PRODUCTION COMBINEE

Population de Densité la commune de besoins (kth/h /ha)	20 à 50 000 habitants	50 à 100 000 habitants	plus de 100 000 habitants
d ₀ : 40 à 130	GTH	GTH	GTH
d ₁ : 130 à 200	GTH prioritaire sinon : PC, si contigüité de communes de plus de 50 000 h, et de densité ≥ d ₁	GTH sinon PC	GTH sinon PC
d ₂ : 200 à 260	GTH prioritaire sinon : PC, si contigüité de communes de plus de 50 000 h, et de densité ≥ d ₁	GTH sinon PC	GTH sinon PC
d ₃ : sup. à 260	PC prioritaire si con- tigüité de communes de plus de 50 000 h et de densité ≥ d ₂ sinon GTH sinon PC, si conti- güité de communes de plus de 50 000 h et de densité ≥ d ₁	PC	PC

GTH : géothermie, s'il existe une nappe

PC : production combinée

. Prise en compte de la densité des forages géothermiques :

L'arbitrage systématiquement favorable à la géothermie a pour effet de conduire à des densités élevées de forages, dans les villes où la densité de besoin de chaleur est élevée.

Aussi, les résultats précédents doivent-ils être repris, pour être plus réalistes, en tenant compte du volume de réservoir nécessaire à chaque opération.

On introduit donc une nouvelle contrainte : la géothermie offre au plus 90 kth par an et par hectare, en terme de potentiel.

Chacune des communes a donc été réexaminée, et le taux de raccordement a été calculé de manière à respecter cette nouvelle contrainte.

Pour les classes d_0 et d_1 , les taux de raccordement à la géothermie restent les mêmes (20 % et 35 %). Par contre, pour les classes d_2 et d_3 , ils diminuent.

Pour la classe d_2 , il s'établit entre 41 % et 51 %, la moyenne étant à 45 %.

Pour la classe d_3 , il s'établit entre 3 % et 40 %, la moyenne étant à 22 %.

. Prise en compte des communes de moins de 20 000 habitants :

Les communes dont la population en 1975 était comprise entre 10 000 et 20 000 habitants ont été prises en compte. Pour ces communes, des densités de population ont été calculées et les taux de raccordement moyens définis ci-dessus ont été utilisés.

III.2.3. Résultats

Le tableau 8 présente le résultat des cinq calculs. Dans le premier cas, alors que l'ensemble des réseaux dessert 5,3 Mtep de besoins utiles, la part de la géothermie est de 0,212 Mtep, soit 0,183 Mtep exprimé en potentiel. La prise en compte plus fine des ressources augmente ce chiffre d'environ 50 %.

Un arbitrage systématiquement favorable à la géothermie conduit à un chiffre beaucoup plus élevé, de 3,3 Mtep.

On constate le rôle prépondérant joué par la prise en compte de la contrainte de densité des forages, puisque le potentiel de la géothermie est ramené de 3,3 Mtep à 1,1 Mtep. Cette réduction affecte surtout les grandes concentrations de populations, puisque la contribution de la ville de Paris passe de 954 ktep à 95 ktep, soit une division par dix. La prise en compte des communes de moins de 20 000 habitants augmente le total de 358 ktep, qui est porté à 1,46 Mtep.

TABLEAU 8
EVALUATION DU POTENTIEL DE LA GEOTHERMIE EN 2 000,
PAR LA METHODE IEJE

Potentiel (=1,15 x 0,75 x énergie utile), exprimé en 10³tep

	Calcul IEJE (02. 1982)	Modification des ressources	Priorité à la géothermie	Densité limitée de forages	Avec villes 10 à 20 10 ³ h
Région parisienne (dont Paris)	137 (0)	137 (0)	2 884 (954)	805 (95)	1 010 (95)
Bassin parisien	14	109	136	116	181
Est	15	13	144	110	180
Sud Ouest	5	19	117	72	90
Rhône Alpes	12	0	0	0	0
TOTAL	183	278	3 281	1 103	1 461

Région parisienne : Ile-de-France
 Bassin parisien : Haute et basse Normandie, Picardie
 Est : Lorraine, Alsace, Franche Comté
 Sud-Ouest : Aquitaine, Midi-Pyrénées
 Rhône-Alpes : Rhône-Alpes

Ces résultats appellent plusieurs remarques ou commentaires :

1. On rappelle d'abord les hypothèses socio-économiques générales, favorables aux réseaux et à la géothermie. La possibilité de recours à la géothermie est seulement subordonnée à une température et une transmissivité, sans considération de coût ou de technique d'utilisation en surface ; les sources de chaleur concurrentes (ordures ménagères, rejets thermiques) ne sont pas mises en compétition avec la géothermie.

Notons que l'IEJE chiffre par ailleurs à 2,4 Mtep l'économie fournie par les PAC (eau et air), à 1 Mtep la contribution des déchets urbains transformés en briquettes, et à 2,8 Mtep l'utilisation des rejets thermiques industriels dans le secteur résidentiel et tertiaire.

2. La construction de la demande d'énergie utile et sa désagrégation par ville reposent sur de très nombreuses hypothèses, dont certaines sont très simplificatrices ou même arbitraires, mais cela est indispensable, faute de données plus précises, et ne paraît pas être de nature à influencer sur l'ordre de grandeur des résultats.

3. Les taux de raccordement jouent un rôle fondamental dans le résultat ; ils ont été choisis arbitrairement, à partir de quelques constatations sur certains réseaux de chaleur. Ils conduisent cependant à un résultat global pour les réseaux de chaleur, qui est de l'ordre de grandeur de ceux obtenus par d'autres évaluations. Il est difficile d'apprécier leur pertinence pour la géothermie. Néanmoins, et dans le cas du dernier calcul, si on traduit ces taux en potentiel de la géothermie pour les villes en fonction de la densité, on obtient les résultats suivants (tableau 9).

TABLEAU 9

POTENTIEL DE LA GEOTHERMIE EN TEP/AN, EN FONCTION

DE LA TAILLE DE LA VILLE ET DE LA DENSITE DE BESOIN DE CHALEUR

		ville de		
		20 000 h	50 000 h	100 000 h
densité	taux de raccordement			
d ₀	20 %	1 900	4 900	9 800
d ₁	35 %	3 400	8 600	17 200
d ₂	45 %	4 400	11 000	22 200
d ₃	22 %		5 400	10 800

Sans qu'il soit possible, en l'état actuel du développement de la géothermie, de comparer ces hypothèses aux réalisations, il semble cependant que les chiffres retenus, surtout si on les transforme en nombre d'opérations, sont des ordres de grandeur acceptables pour apprécier un développement maximum de la géothermie

4. La géothermie n'intervient que pour le secteur résidentiel et tertiaire.

Des calculs effectués en utilisant la méthode de l'IEJE, on retiendra donc surtout le dernier résultat, qui établit vers 1,5 Mtep l'ordre de grandeur de la contribution de la géothermie au bilan énergétique et qui en attribue les deux tiers à la région Ile de France.

III.3. EVALUATION A PARTIR DES INVENTAIRES DEPARTEMENTAUX OU REGIONAUX

Pour favoriser le développement de la géothermie, les Pouvoirs publics, nationaux, régionaux ou départementaux, ont entrepris la réalisation d'inventaires des possibilités géothermiques, par département ou par région.

L'objectif de ces travaux était certes de cerner le potentiel de la géothermie, mais surtout d'identifier plusieurs sujets étudiés sommairement et susceptibles de déboucher rapidement sur des réalisations qui joueraient un rôle moteur dans le développement de la géothermie. Ce but a été parfaitement atteint.

Ces inventaires sont réalisés par des bureaux d'études (BRGM et Géotherma pour le sous-sol, bureaux d'études thermiques pour la surface, coordination parfois assurée par Géochaleur) et repose sur une confrontation des ressources et des besoins actuels ou prévisibles à court terme (2 à 5 ans).

La plupart des zones concernées par la géothermie sont couvertes (ou en cours d'étude).

Une étude de synthèse de ces inventaires a été réalisée et on s'est attaché à vérifier la cohérence de travaux qui ont été réalisés par des organismes différents, à des dates différentes, donc avec une évolution des approches. Géochaleur nous a apporté un précieux concours pour les inventaires de l'Ile de France.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans l'annexe 3. On n'en reprendra ici que l'essentiel.

La figure 2 (cf. chapitre 1) présente une carte qui résume l'état de réalisation des inventaires par région.

Le tableau 10 présente la synthèse des résultats pour chacune des régions qui ont fait l'objet d'un inventaire.

Ces chiffres correspondent à l'évaluation des consommations énergétiques des utilisateurs, identifiés par les inventaires, et qui présentent des caractéristiques favorables pour être desservis par géothermie (ou qui le sont déjà).

Le total s'élève à 1,586 Mtep. Si on admet que la géothermie pourrait assurer 75 % des besoins, on obtient alors une évaluation de la contribution énergétique de la géothermie qui s'élève à environ 1,2 Mtep, dont près de 1 Mtep dans le Bassin parisien, et 0,87 Mtep en Ile de France. (Paris intervient pour 122 ktep dans le total de 1 165 ktep en Ile de France).

Ces chiffres correspondent à environ 340 opérations individualisées, qui se répartissent en :

21 installations en fonctionnement

22 installations en cours de réalisation

TABLEAU 10

CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DES UTILISATEURS POTENTIELS DE LA
GEOOTHERMIE PROFONDE IDENTIFIES PAR LES INVENTAIRES

(en milliers de tep)

		A	B	C
<u>Bassin parisien</u>	<u>1 297</u>			
ILE DE FRANCE	1 165	683	301	181
PICARDIE	37			
LORRAINE	36	13	15	8
CHAMPAGNE ARDENNES	46			
CENTRE	13			
<u>Bassin aquitain</u>	<u>117</u>			
AQUITAINE	98	70	27	1
MIDI PYRENEES	19			
<u>Autres régions</u>	<u>172</u>			
ALSACE	17			
ALLIER	pm			
NORD PAS DE CALAIS	12			
LANGUEDOC PROVENCE	142			
TOTAL	<u>1 586</u>			

A - Sujets très intéressants, bonne coïncidence entre les caractéristiques de la ressource et des consommateurs.

B - Sujets intéressants.

C - Sujets à caractéristiques moins favorables.

plus de 100 projets à un stade d'étude plus ou moins avancé.

Pour trois régions (Ile de France, Aquitaine et Lorraine) qui représentent 82 % du total, une distinction est possible selon l'intérêt économique des installations. Plus de la moitié du potentiel identifié est très favorable en Ile de France.

Pour les Hauts-de-Seine et pour la Picardie, l'inventaire a par ailleurs chiffré le potentiel des "basses et très basses températures".

Les chiffres obtenus, exprimés en tep actuellement consommées sont (en ktep).

ktep	Géothermie profonde	Géothermie basse ou très basse température
Picardie	36,7	26,4
Hts de Seine	106,6	35,0

Sans ignorer son caractère arbitraire, on a fait le calcul suivant : à toute tep raccordée à la géothermie profonde est raccordée

1/3 tep à la géothermie peu profonde si le potentiel profond de la région est important

et 1/2 tep si le potentiel profond de la région est peu important.

Le total de 1,586 Mtep passe alors à 2,15 Mtep.

En admettant que les tep substituées par géothermie peu profonde le sont à raison de 50 % par la géothermie, on obtient un potentiel d'économie d'énergie qui passe de 1,2 à environ 1,5 Mtep.

III.4. EVALUATION PAR CONFRONTATION DES RESSOURCES ET DES BESOINS DETERMINES A PARTIR DE LA STRUCTURE DE L'HABITAT

Une méthode spécifique a été définie et utilisée pour déterminer la contribution énergétique de la géothermie à l'horizon 1990 (annexe 4). Elle repose sur une confrontation entre d'une part les ressources, dont une quantification aussi précise que possible a été réalisée (cf. chapitre 1), et d'autre part les besoins en énergie basse température.

Ces besoins ont été construits pour toute commune suffisamment importante, et dont il n'est pas exclu que le sous-sol offre un réservoir géothermique à plus de 30°C (cf. figure 7).

Par commune suffisamment importante, on entend commune ayant au moins 1 000 logements ayant la propriété P définie ci-dessous.

Ce seuil a été abaissée à 500 pour un certain nombre de régions dont les ressources géothermiques sont à moyenne profondeur (Lorraine, Bourgogne, Aquitaine, Franche-Comté, Poitou-Charente et Midi-Pyrénées). Paris n'a pas été étudié.

Evaluation des besoins en énergie :

Elle a été effectuée à partir de la structure de l'habitat. Grâce à un dépouillement approprié du recensement INSEE de 1975, et aux données de l'association Bâtitteur* pour chaque commune retenue, le parc de logements en 1990 a été construit en identifiant :

a) le nombre de logements existant en mars 1975, qui ont la propriété (P) d'appartenir à des immeubles d'au moins 6 logements (ce qui correspond grossièrement à des immeubles R + 2), et d'être desservis soit par chauffage collectif, éventuellement urbain. Ces logements ont été distingués selon leur date de construction. Ces données sont exactes.

b) le nombre de logements ayant la même propriété et construits entre 1975 et 1981

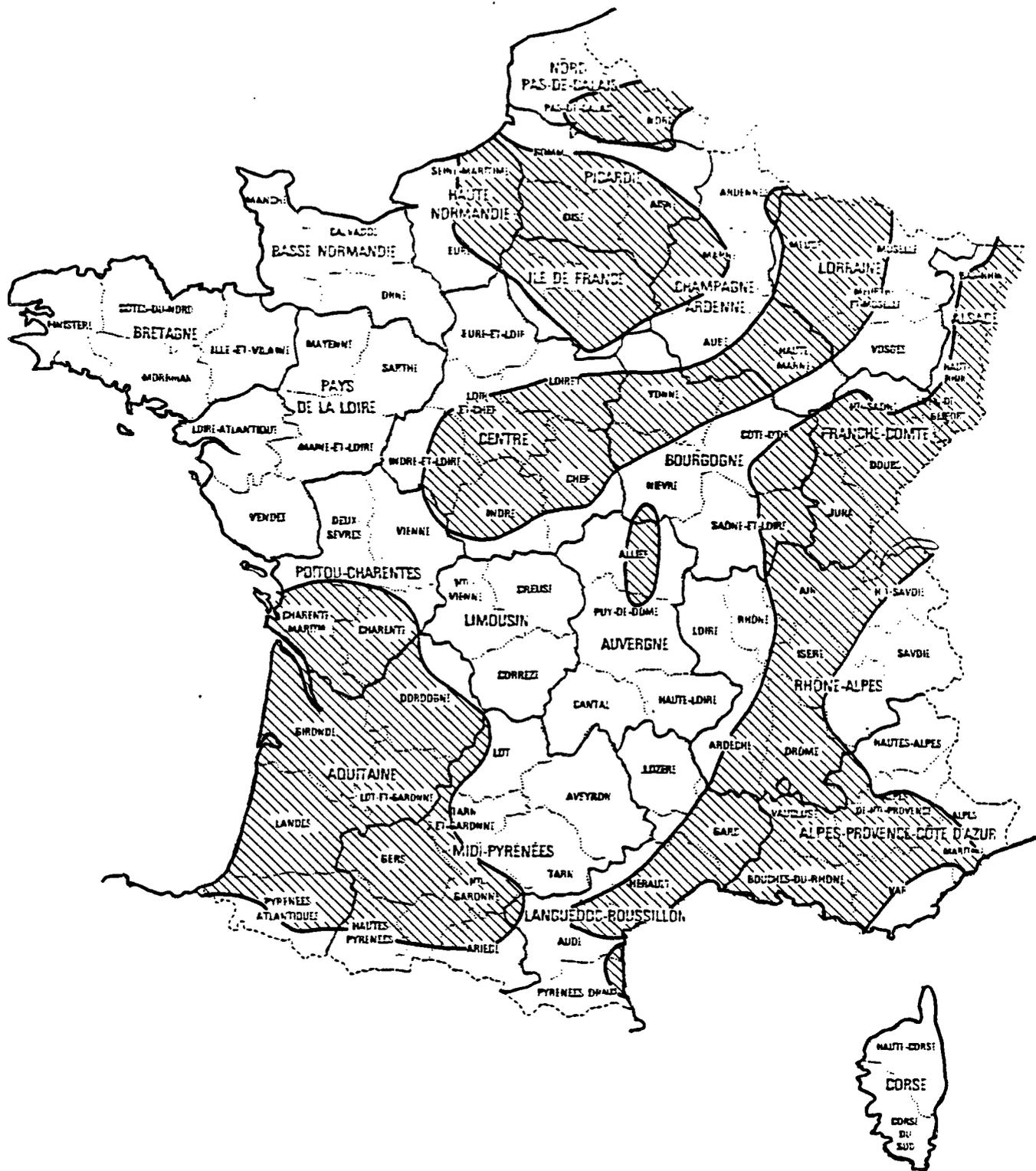
Pour cela plusieurs hypothèses simplificatrices ont dû être faites, faute de données précises :

- la part des logements ayant la propriété P construits entre 75 et 81, ramenée au nombre de logements en immeuble construits dans la commune au cours de cette période est la même que celle calculée sur l'ensemble du passé ;
- la proportion de ces logements équipés d'un chauffage collectif a été supposée égale à la proportion nationale** dans les logements en immeuble, de l'année considérée (donnée AEE), majorée arbitrairement de 20 % car il s'agit de logements en collectif plutôt "haut", donc appartenant plutôt à des grosses opérations immobilières, dans lesquelles la pénétration des formes collectives de chauffage est plus importante que la moyenne nationale ;

* Association 1901 entre SCIC, SCET, Fédération nationale du Bâtiment et Ministère de l'urbanisme et du logement.

** de 1975 à 1981, cette proportion varie comme suit : 0,82 ; 0,62 ; 0,48 ; 0,34 ; 0,26 ; 0,23 ; 0,20

Figure 7 - Zone dont le parc de logements a été étudié



Zone dont le sous-sol peut présenter un réservoir géothermique à température supérieure à 30°C, et dont le parc de logements a été étudié.

Cela suppose aussi que la moyenne nationale est appliquée à chaque commune, quelles que soient sa taille et sa région ;

c) le nombre des logements qui seront construits dans la commune entre 1982 et 1990 :

Deux hypothèses ont été retenues, après consultation des services du Ministère de l'Urbanisme et du Logement, compétents en matière de prospective de la construction :

- Le volume annuel de construction de logements neufs pour chaque année de la période s'établit à 400 000 unités ;
- Pour chaque commune et sur l'ensemble de la période (9 années), la part des logements d'un type donné (collectif, individuel groupé et individuel pur) ramené au volume national de la construction (soit $3,6 \cdot 10^6$ logements) est la même que celle des logements du même type réalisés entre 1975 et 1981, ramenée au volume de la construction de cette période (soit $3,3 \cdot 10^6$ logements).

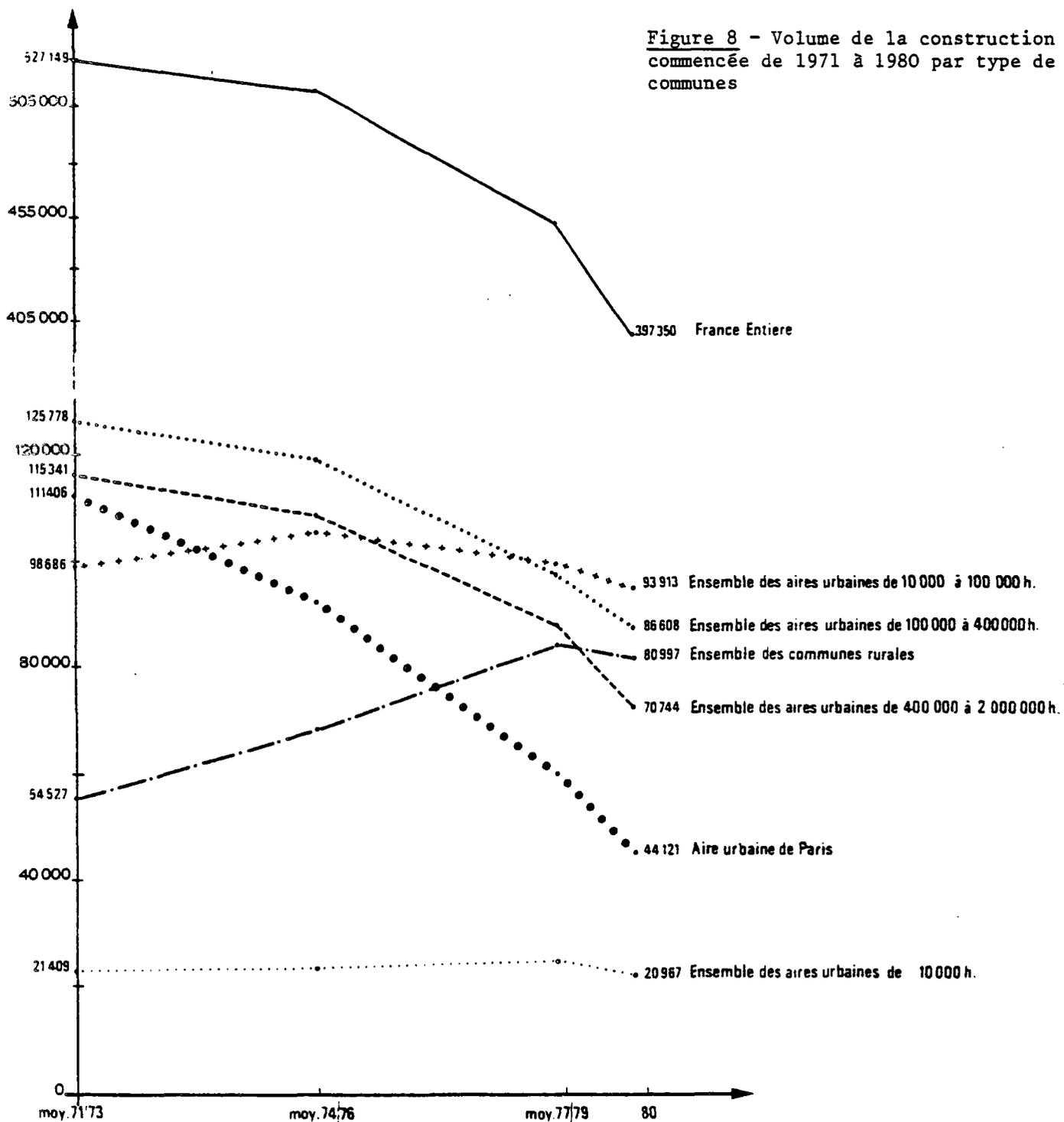
Cela traduit en fait deux difficultés :

. La première est d'évaluer le volume de la construction dans les années à venir, qui dépend de très nombreux facteurs : besoins normatifs en logements, liés aux paramètres démographiques et au phénomène de décohabitation ; mais aussi croissance économique, taux d'intérêt, orientation de l'épargne vers les investissements industriels. En régression depuis 10 ans (fig.8) et actuellement vers 370 000 logements par an, le volume de la construction pourrait augmenter à l'avenir. Il n'est donc pas déraisonnable de le choisir à 400 000 /an en moyenne sur la période 82-90.

. La seconde difficulté est d'apprécier la part relative des formes d'habitation. Au cours des dernières années, la progression des formes d'habitat individuel a été très vigoureuse, en raison de plusieurs facteurs : le manque de disponibilité foncière pour l'habitat collectif, un moindre encouragement par les Pouvoirs publics, des formes collectives d'habitation, la fin des migrations rurales, et surtout la forte préférence de la population pour la maison individuelle.

Alors que les logements collectifs représentaient 56 % en 1971/1973, ils ne représentaient plus que 33 % en 1980 (fig.9). Là encore, la prévision est très délicate. Certes des difficultés apparaissent (mitage du paysage, coût élevé pour la collectivité en transport, en équipements, en énergie) qui pourraient renverser la tendance.

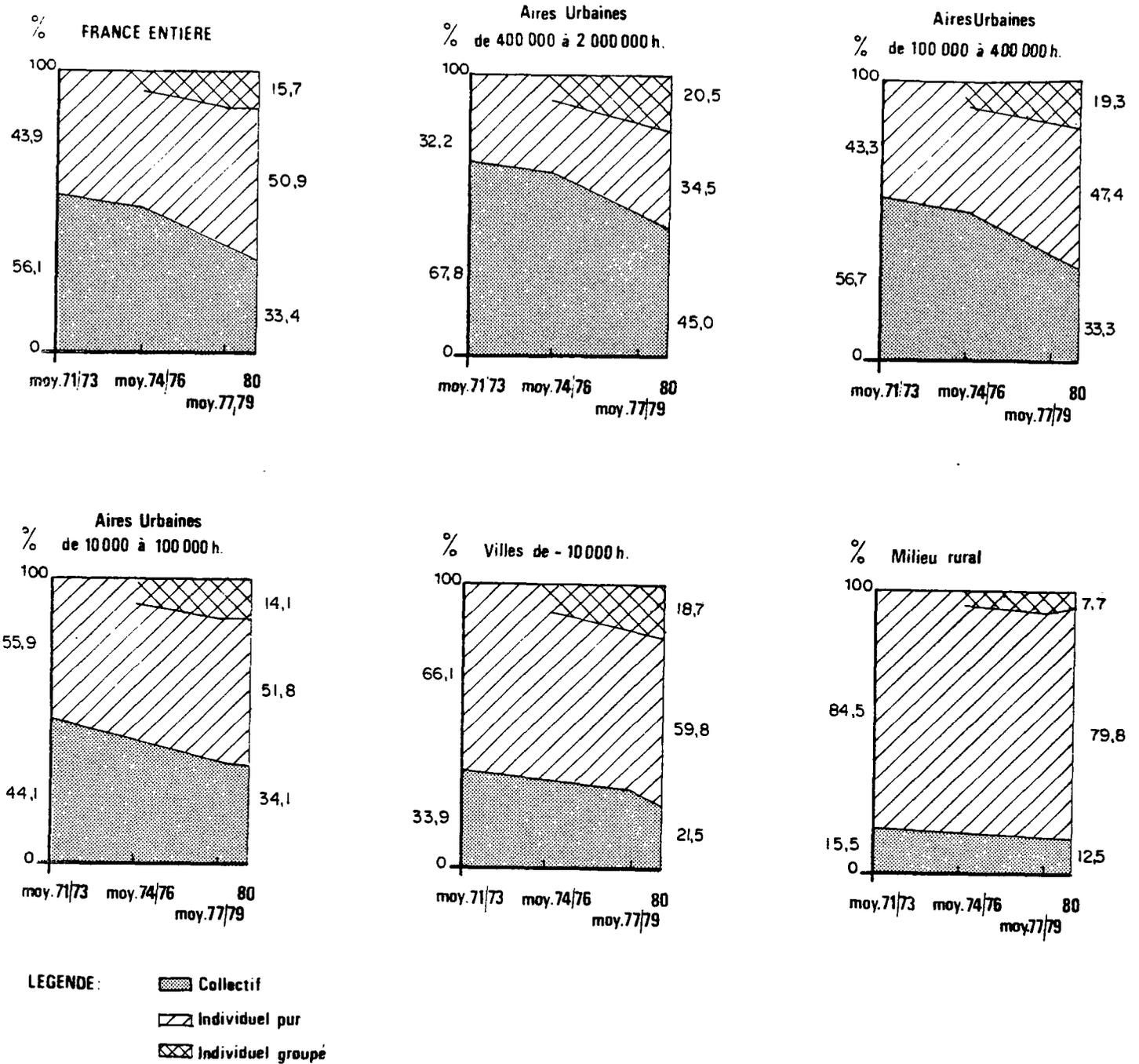
Il n'est donc pas déraisonnable d'admettre que, en moyenne sur les 9 années 82-90, la proportion individuel/collectif sera la même que la moyenne de 75-81, alors que les tendances seraient opposées. Difficile au plan national, la prévision est impossible au plan local : on a donc pris le parti d'y appliquer la règle nationale.



Au cours de la dernière décennie la construction de logements en France a connu un très fort recul. Alors qu'elle se situait largement au-dessus des 500 000 logements mis en chantier chaque année au cours de la première moitié de la période ce chiffre est tombé un peu au-dessous de 400 000 en 1980.

Toutefois cette baisse n'affecte pas d'une manière uniforme toutes les parties du territoire. D'une manière générale on peut dire que les aires urbaines sont les plus touchées et elles sont d'autant plus en baisse qu'elles sont plus peuplées : celle de Paris en premier lieu, qui passe de 110 000 logements/an en moyenne en début de période à 44 000 en 1980. Par contre les petites aires urbaines et les petites villes isolées sont stables et le milieu rural est même en augmentation très sensible puisqu'il passe de 50 000 logements par an environ en début de période à plus de 80 000 en fin de période.

Figure 9 - La construction commencée en France de 1971 à 1980
(par type de construction et en %)



La part des logements collectifs, et accessoirement des individuels groupés, est d'autant plus importante que l'on a affaire à des aires urbaines de grande dimension. Dans les petites villes et le milieu rural le logement individuel (non groupé) est la forme de construction prépondérante.

L'évolution constatée au cours de la période est à peu près similaire partout : à savoir une place croissante de l'individuel aux dépens du collectif. Toutefois, le mouvement est plus important et plus accéléré dans les grandes aires urbaines que dans les petites (il y a plus de retard à rattraper...). En milieu rural, les proportions entre les types de construction sont même pratiquement stabilisées car les constructions de résidences de loisirs qui s'y développent se font souvent sous forme de collectifs qui viennent ainsi relayer les quelques collectifs-résidences principales du début de la période.

Le tableau 11 présente la synthèse des résultats obtenus, par région.

Le total pour la France des logements éventuellement concernés par la géothermie en 1990 s'établit à 3,64 millions, Paris non compris, et en négligeant les logements qui ont été ou seront désaffectés au cours de la période 75 - 90.

Ventilé par grande entité géologique, on obtient :

Bassin parisien : 2,23 millions de logements, soit 61 %

Bassin aquitain : 0,25 millions de logements, soit 7 %

Autres bassins : 1,16 millions de logements, soit 32 %

3,64 millions de logements.

On passe de la structure du parc résidentiel concerné par la géothermie en 1990 aux besoins énergétiques basse température, exprimés en équivalent-logement, susceptibles d'être en partie satisfaits par géothermie, en faisant deux hypothèses simplificatrices :

- un logement -quelle que soit sa date de construction- est un "équivalent-logement", ce qui néglige l'effet du renforcement des normes d'isolation ; c'est une hypothèse favorable à la géothermie ;
- à tout équivalent-logement en résidentiel, vient s'ajouter 1/2 équivalent-logement en secteur tertiaire, industriel ou agricole.

Confrontation ressources-besoins :

Disposant pour chaque commune d'une part des besoins susceptibles d'être desservis par géothermie et d'autre part des ressources, on procède à la détermination du potentiel d'économie en respectant les hypothèses suivantes :

- * ne sont pas raccordables les logements construits avant 1949 ; ces logements anciens sont très généralement situés en centre ville, avec des structures de propriété et de gestion mal adaptées à la géothermie (ils représentent moins de 12 % du total), *
- * ne sont pas pris en compte les individuels groupés construits entre 82 et 90 (moins de 2 % du total),
- * selon la température des ressources disponibles, on a admis par équivalent-logement raccordable, une économie de 1 tep dans le cas des réservoirs profonds de température supérieure à 55°C (Dogger et Trias en Ile de France par exemple),

*cette hypothèse est en réalité un peu pessimiste, comme le montre la réalisation en cours à la Porte de St Cloud, qui dessert précisément des logements anciens.

TABLEAU 11

PARC DE LOGEMENTS EN 1990 CONCERNES PAR LA GEOTHERMIE (EN MILLIERS DE LOGEMENTS)

	Nombre de logements : . appartenant à un immeuble d'au moins 6 logements . desservis par chauffage collectifs ou urbains			Nb.logements en immeuble construits entre 1982 & 1990 (estimation)	Nb.logements individuels groupés construits entre 1982 & 1990 (estimation)	TOTAL
	Existant en 1975 données INSEE		construits entre 1975 & 1981 (évaluation)			
	construits avant 1949	construits après 1949				
ILE DE FRANCE (hors Paris)	301	1 034	115	196	14	
PICARDIE	3	54	8	17	2	
LORRAINE	7	71	8	22	3	
CHAMPAGNE ARDENNES	2	48	6	13	4	
CENTRE	5	74	11	28	5	
BOURGOGNE	4	58	7	19	2	
HAUTE NORMANDIE	4	53	8	19	1	
TOTAL BASSIN PARISIEN	326	1 392	163	314	31	2 226
AQUITAINE	7	86	14	41	4	
MIDI PYRENEES	6	57	8	17	2	
POITOU CHARENTE	0	7	1	2	1	
TOTAL BASSIN AQUITAIN	13	150	23	60	7	253
ALSACE	12	78	12	31	1	
FRANCHE COMTE	4	53	6	16	1	
AUVERGNE	6	34	4	11	1	
NORD	1	18	3	9	2	
LANGUEDOC	6	77	21	64	9	
RHONE ALPES	11	137	16	37	4	
PROVENCE COTE D'AZUR	40	289	43	94	10	
TOTAL AUTRES BASSINS	80	686	105	262	28	1 161
TOTAL FRANCE	419	2 228	291	636	66	3 640

une économie de 3/4 tep pour les ressources entre 40°C et 55°C (Lusitanien en Ile de France par exemple), de 1/2 tep pour les ressources à moins de 40°C, car elles nécessitent l'usage de pompes à chaleur,

* selon le débit possible, on a admis le raccordement :

- de 100 % des besoins si le débit possible est supérieur à 200 m³/h (ce qui néglige l'éloignement des utilisateurs),
- de 66 % des besoins si le débit possible est compris entre 150 et 200 m³/h,
- de 50 % des besoins si le débit possible est compris entre 100 et 150 m³/h,

pour tenir compte du fait que la baisse de débit augmente l'investissement à l'unité de puissance thermique et ne se justifie donc que si les utilisateurs sont bien adaptés,

* dans le cas de forte densité de besoins, on a sollicité plusieurs aquifères, dans l'ordre décroissant d'intérêt et de connaissance, et en adoptant une emprise de 200 ha par doublet,

* on a fixé des seuils minima de besoins :

2 500 équivalent-logements pour des doublets profonds (> 55°C)

2 000 équivalent-logements pour des doublets moyennement profonds (40 à 55°C)

1 000 équivalent-logements pour des doublets peu profonds (35 à 40°C)

500 équivalent-logements pour des doublets très peu profonds (< 35°C)

La confrontation n'a été possible que pour les régions où les données sur les ressources sont suffisamment précises : le Bassin parisien (hors Bourgogne) et le Bassin aquitain.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 12

Pour ces deux grands bassins, on identifie donc une économie possible de 1,97 Mtep qui se ventile en :

1,13 Mtep correspondant à des ressources bien connues

0,45 Mtep correspondant à des ressources moyennement connues

0,39 Mtep correspondant à des ressources peu connues.

TABLEAU 12

EVALUATION DU NOMBRE DE TEP ECONOMISABLES PAR GEOTHERMIE EN 1990

RESULTAT DE LA CONFRONTATION DES RESSOURCES ET DES BESOINS

(en milliers de tep)

BASSIN PARISIEN	TRIAS	DOGGER	LUSITANIEN	ALBIEN NEOCOMIEN etc...	TOTAL	Taux de pénétration
ILE DE FRANCE (Paris non compris)	161,5	968,2	282,0	210,8	1 622,5	80 %
PICARDIE		61,0		6,0	67,0	57 %
LORRAINE	45,2				45,2	30 %
CHAMPAGNE ARDENNE		3,6	6,8		10,4	10 %
CENTRE	54,8				54,8	32 %
HAUTE NORMANDIE	7,4				7,4	6 %
TOTAL	268,9	1 032,8	288,8	216,8	1 807,3	68 %
Niveau de connaissance						
Bon	56,9	714,1	30,8	216,8	1 018,6	
Moyen	78,7	310,7	29,2		418,6	
Faible	133,3	8,0	228,8		370,1	

BASSIN AQUITAIN	TRIAS	LIAS	JUR.	CRET. INF.	CRET. SUP.	EOCENE	TOTAL	Taux de péné- tration
AQUITAINE	9,6	9,6	1,8	27,1	68,4	1,4	117,9	56 %
MIDI-PYRENEES			2,2			40,5	42,7	35 %
POITOU-CHARENTE	1,0						1,0	7 %
TOTAL	10,6	9,6	4,0	27,1	68,4	41,9	161,6	46 %
Niveau de connaissance								
Bon					65,3	41,9	106,9	
Moyen			1,8	27,1			28,9	
Faible	10,6	9,6	2,2		3,1		25,5	

Ramenée aux nombres de logements pris en compte (1,78 en Bassin parisien, et 0,23 millions en Bassin aquitain), auxquels correspondent une consommation énergétique, exprimée en équivalent-logements, de $2,7 \cdot 10^6$ et $0,35 \cdot 10^6$, la prise en compte des caractéristiques des ressources limite l'intervention possible de la géothermie (taux de couverture)

à 68 % des besoins en Bassin parisien

et à 46 % des besoins en Bassin aquitain,

mais ce taux est très variable selon les régions, puisqu'il va de 80 % en Ile de France à 6 % en Haute Normandie et de 56 % en Aquitaine à 7 % en Poitou Charente.

Pour extrapoler ces chiffres à la France entière, on peut d'une part ajouter 0,1 Mtep correspondant à Paris (ressources bien connues) et d'autre part admettre, pour les autres régions, un taux de couverture de 30 % des besoins (ce qui est très optimiste), ce qui ajoute 0,34 Mtep, correspondant à des ressources plutôt mal connues.

Au total, le potentiel maximum de la géothermie, évalué par cette démarche à l'horizon 1980, atteint environ 2,4 Mtep et se répartit comme suit :

Bassin parisien	1,91 Mtep	(79 %)
Bassin aquitain	0,16 Mtep	(7 %)
Autres régions	0,34 Mtep	(14 %)
TOTAL	<u>2,41 Mtep</u>	<u>(100 %)</u>

* Ce chiffre est en fait élevé et il serait plus raisonnable d'adapter 0,05 Mtep, mais l'incidence sur le résultat n'est pas fondamentale.

CONCLUSION

Tirer une conclusion simple des évaluations dont les résultats sont présentés ici n'est pas chose facile. Seuls des éléments de conclusion peuvent être apportés en réponse à la question : quelle peut être la contribution de la géothermie au bilan énergétique français.

Pour aborder cette question, il n'est pas possible de recourir à une méthode rigoureuse. Concevable en théorie, et fondée sur une approche par les coûts de production et de distribution de la chaleur, une telle méthode se heurte tout de suite à un manque évident de données sur la structure des utilisateurs et à l'immense variété des cas particuliers. Aussi, a-t-il fallu recourir à des évaluations de caractère très empirique.

On peut admettre que l'approche par les inventaires est plutôt une évaluation par défaut, puisqu'elle n'est pas exhaustive et qu'elle appréhende surtout le court terme.

L'approche par la méthode IEJE est plus difficile à caractériser, car, malgré certaines hypothèses résolument en faveur des réseaux et de la géothermie, le résultat dépend très fortement des taux de raccordement, dont la justesse du choix ne peut être réellement appréciée.

La confrontation des ressources et des besoins est résolument une évaluation par excès, tant pour ce qui est des régions concernées, que des raccordements effectués puisqu'on néglige toutes les impossibilités liées à l'éloignement des utilisateurs, mais aussi les concurrences des autres formes d'énergie.

De ces évaluations dont l'ensemble des résultats est repris de manière synthétique par la fig.10, peuvent néanmoins être dégagés les éléments suivants :

- * les ressources géothermiques à température supérieure à 30°C sont relativement abondantes, mais leur connaissance est très inégale selon les régions ; actuellement, les ressources les mieux connues sont situées dans le Bassin parisien et dans le Bassin aquitain ;
- * les besoins de chaleur dont le niveau de température est compatible avec celui des ressources géothermiques, sont importants ; on les évalue à environ 55 Mtep, dont 44 Mtep dans le secteur résidentiel et tertiaire ;
- * l'évaluation par excès conduit à une contribution énergétique de la géothermie à hauteur de 2,4 Mtep/an économisées dont une bonne moitié correspond à des ressources bien connues, dont près de 80 % dans le Bassin parisien et 72 % dans la région Ile de France ;
- * l'évaluation par défaut conduit à une contribution totale de l'ordre de 1,5 Mtep/an économisées, dont 0,3 Mtep/an à partir de ressources à très basse température ; sur les 1,2 Mtep correspondant à la géothermie profonde, 0,6 Mtep/an (soit 50 %) sont jugés économiquement intéressants et 0,25 Mtep/an (soit 20 %) sont d'intérêt économique moyen.

* qu'ils soient ou non en zone géothermique et qu'ils soient ou non raccordables à des réseaux géothermiques

Il convient de noter l'écart relativement peu important entre l'estimation par défaut et l'estimation par excès.

Pour appréhender quelle pourrait être la contribution énergétique de la géothermie, on doit apprécier ces évaluations à la lumière des obstacles que rencontre le développement de cette énergie :

- la lourdeur des investissements, et notamment leur prise en charge par les consommateurs (ou leur représentant : promoteur, gestionnaire, collectivité locale), à la différence des solutions concurrentes pour lesquelles le consommateur, au moment du choix, ne supporte directement qu'une faible part de l'investissement, la plus grande part étant incluse dans les tarifs de l'énergie achetée ;
- la part décroissante des logements en immeuble, et la préférence très forte pour les logements individuels, ce qui limite l'intervention de la géothermie dans l'habitat neuf ;
- la taille modeste des grands programmes immobiliers ; les plus gros programmes en neuf comptent une centaine de logements par an, ce qui fait que ces programmes ne peuvent que rarement être moteur dans le développement de la géothermie s'il n'existe pas à proximité un noyau ancien de taille suffisante pour justifier une installation géothermique ;
- la préférence très forte des promoteurs (publics ou privés) pour les formes individuelles de chauffage, plus simples à gérer car elles libèrent le gestionnaire des difficultés d'acquittement des charges de chauffage ;
- la concurrence des autres formes d'énergie : gaz et électricité, avec des réseaux commerciaux agressifs, mais aussi charbon et ordures ménagères ;
- la difficulté de montage de projets qui rassemblent de nombreux utilisateurs/décideurs publics ou privés.

A la lumière de ces difficultés, que les hypothèses des évaluations ne peuvent quantifier, et compte-tenu des réalisations actuelles, trois courbes d'évolution ont été tracées sur la figure 10.

Elles correspondent à des économies annuelles supplémentaires de 50 ktep, 75 ktep et 100ktep (soient des réalisations annuelles équivalentes à 20, 30 ou 40 projets profonds de 2 500 tep chacun).

L'économie annuelle par géothermie en 1990 serait alors respectivement d'environ 0,44, 0,61 et 0,79 Mtep.

Au terme de ces réflexions, deux scénarios sont possibles pour le développement de la géothermie :

Un scénario gris

- . les problèmes énergétiques perdent leur caractère prioritaire ; dans les années qui viennent, le marché pétrolier reste détendu et contrôlé par les acheteurs ;
- . les autres énergies (gaz, charbon, électricité) sont particulièrement compétitives et la concurrence sauvage joue partout ;
- . les Pouvoirs publics se désengagent progressivement de la géothermie en réduisant le niveau de risque couvert, en atténuant les mesures incitatives, et en limitant les réalisations aux régions dont le sous-sol est connu ;
- . la géothermie dessert surtout des utilisateurs dans le secteur résidentiel et le parc des HLM constitue le plus gros utilisateur, puisque le CNET-HLM évalue à 100 000 par an le nombre de logements dont le mode de chauffage doit être converti, dont 30 000 vers la géothermie (1,4 million de logements HLM sont actuellement chauffés au fuel).

Dans ces conditions, la contribution énergétique de la géothermie se situera aux environs de 0,4 Mtep/an en 1990 dont 90 % en Ile de France. A horizon plus lointain, elle pourrait atteindre 0,5 à 0,6 Mtep.

Un scénario rose

- . la maîtrise du système énergétique reste un domaine prioritaire,
- . la concurrence est suffisamment harmonisée pour que, à conditions économiques équivalentes, le choix ne soit pas en faveur de la solution la moins coûteuse en investissement si celle-ci conduit à ne pas utiliser les ressources géothermiques locales,
- . les Pouvoirs publics poursuivent et développent une action vigoureuse en faveur des énergies de substitution, des réseaux et notamment de la géothermie,
- . les applications de la géothermie sont diversifiées : vers les ressources à basse température et pour plus d'usages, dans les secteurs résidentiel, tertiaire, mais aussi agricole et industriel.

Dans ces conditions, la contribution énergétique de la géothermie se situera aux environs de 0,8 Mtep/an en 1990, dont cent à cent cinquante mille tep/an à partir de ressources peu profondes. La plus grosse part de ces 0,8 Mtep -de l'ordre de 80 %- est située dans le Bassin parisien et notamment en Ile de France. Les autres régions participent aussi, mais plus modestement à ce développement. A horizon plus lointain, la contribution de la géothermie pourrait dépasser le million de tep économisée chaque année.

Le rôle des Pouvoirs publics est, dans cette affaire, tout-à-fait déterminant.

Le caractère national des ressources géothermiques, qui libère des contraintes extérieures de fluctuations de prix et des incertitudes d'approvisionnement, la nécessité, à terme, de mobiliser toutes les sources d'énergie, même celles dont la contribution est modeste, la fiabilité technique et la compétitivité économique de la géothermie sont autant d'arguments en faveur de cette forme d'énergie.

Aussi, et pour conclure, nous recommandons :

1. d'adopter un objectif ambitieux, mais réaliste, de 0,8 Mtep d'économie annuelle pour la géothermie en 1990,
2. de renforcer le dispositif ou d'engager les actions nécessaires au développement harmonieux de la géothermie sur les plans :
 - financier : atténuation de l'effet capitalistique qui conduit, à performances économiques identiques, l'utilisateur à préférer les systèmes peu coûteux en investissement et coûteux en exploitation,
 - géologique : conserver un système de prise en charge du risque par l'Etat (ou par mutualisation), et engager des actions de reconnaissance des ressources mal connues dont l'enjeu énergétique est intéressant,
 - technique : favoriser la mise au point de l'utilisation des basses températures et préconiser l'emploi d'émetteurs adaptés notamment dans les cas où le recours à la géothermie peut être planifié à court ou moyen terme.
 - énergétique : harmoniser suffisamment la concurrence et éviter que des décisions ponctuelles ne stérilisent des ressources utilisables ; diversifier les applications de la géothermie vers tous les secteurs : montrer l'exemple en développant l'utilisation de la géothermie pour le chauffage du patrimoine immobilier des administrations.

Toutes ces actions nécessaires au développement de la géothermie le sont aussi, pour l'essentiel, au développement des réseaux de chaleur.

* Il s'agit ici de PLANIFICATION, au niveau national, mais aussi au niveau local.

PRINCIPAUX DOCUMENTS UTILISES

- Inventaires des ressources géothermiques par bassin (Bassin parisien et Bassin aquitain, fossé rhénan).
- Inventaires géothermiques départementaux ou régionaux.
- Energie et régions, production et consommation, perspectives 1985/2000, DATAR-IEJE, 1980.
- Prospective de la consommation d'énergie à long terme, secteur de l'habitat et du tertiaire, VIII^e Plan, 1981.
- Document préparatoire au débat sur l'énergie, "rapport Hugon", 1981.
- Le chauffage des habitations en France, rapport CECAL, 1980.
- Les consommations et les économies d'énergie du secteur résidentiel et tertiaire, AEE, édition 1981.
- Urbanisation des villes ou des campagnes, dossiers de la DUP, 1981.
- Electricité et industrie, Revue de l'énergie, mai-juin 1982.
- Divers travaux du BRGM.

A N N E X E 1

LES RESSOURCES GEOTHERMIQUES BASSE ENERGIE
ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES

TABLE DES MATIERES

	Pages
I - <u>PROBLEME POSE</u>	1
II - <u>ETAT DES CONNAISSANCES</u>	1
III - <u>CHOIX DES PARAMETRES CARACTERISANT LA RESSOURCE</u>	4
III.1. Les gisements	4
III.2. Profondeur des réservoirs	4
III.3. Quantification de la ressource	4
IV - <u>DEGRE DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE</u>	6
V - <u>CLASSIFICATION DES RESSOURCES</u>	7
VI - <u>RESSOURCES GEOTHERMIQUES DU BASSIN DE PARIS</u>	10
VI.1. Lusitanien	10
VI.2. Dogger	11
VI.3. Trias	12
VII - <u>RESSOURCES GEOTHERMIQUES DU BASSIN AQUITAIN</u>	13
VII.1. Eocène	14
VII.2. Paléocène Danien	14
VII.3. Crétacé supérieur	14
VII.4. Crétacé inférieur	15
VII.5. Jurassique supérieur et moyen	16
VII.6. Lias moyen	17
VII.7. Lias inférieur - Trias	17
VIII - <u>RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN ALSACE</u>	18
VIII.1. Les calcaires du Malm	18
VIII.2. La grande oolithe (Dogger)	19
VIII.3. Muschelkalk supérieur	20
VIII.4. Buntsandstein	20

IX - <u>AUTRES REGIONS</u>	20
IX.1. Ressources géothermiques dans le Hainaut (Région Nord/ Pas-de-Calais)	20
IX.2. Ressources géothermiques en Poitou-Charente	21
IX.3. Ressources géothermiques dans le département de l'Allier	21
IX.4. Ressources géothermiques en Franche Comté	21
IX.5. Ressources géothermiques en Languedoc-Roussillon	22
IX.6. Ressources géothermiques en Provence-Côte d'Azur	24
IX.7. Ressources géothermiques dans le couloir rhodanien	24
IX.8. Ressources géothermiques en Corse	25
X - <u>CONCLUSION</u>	25

I - PROBLEME POSE

Ce travail est un élément d'une étude dont le but consiste en l'évaluation des perspectives de contribution de la géothermie au bilan énergétique français.

Cette évaluation repose sur une confrontation entre ressource potentielle du sous-sol et besoins de surface.

Ainsi, dans le but de rendre cette confrontation possible, il est nécessaire d'identifier les gisements et de sélectionner des paramètres simples qui permettent :

- la quantification de la ressource,
- l'évaluation des coûts de forages et d'exploitation,
- le risque géologique lié à la réalisation d'opérations géothermiques.

Ces paramètres étant choisis, il convient de les déterminer pour chacun des gisements et d'en établir une cartographie.

II - ETAT DES CONNAISSANCES

La recherche pétrolière menée dans le sous-sol français depuis 1950, au moyen de plus de 5 000 forages et de nombreuses campagnes géophysiques (essentiellement sismiques), a permis de reconnaître les bassins sédimentaires, les fossés d'effondrement et les avant-pays des grandes chaînes de montagne.

La législation française met dans le domaine public dès la fin des forages les renseignements géologiques et, après 10 ans, les données sismiques. Ainsi, grâce à cette documentation, ont été réalisés à partir de 1974 l'identification et l'évaluation du potentiel géothermique des grands gisements français (cf. fig.1).

* Remarque : limites de l'étude

Nous nous sommes limités à l'étude des ressources de type basse énergie ayant fait l'objet d'inventaires géothermiques et dont la température est généralement supérieure à 30°C. Nous n'avons pas pris en compte :

- les ressources correspondant aux sources thermales
- les éventuelles ressources haute énergie du Massif Central.

Les départements et territoires d'outre mer n'ont pas été pris en compte.

** les références des études sont présentées en annexe.

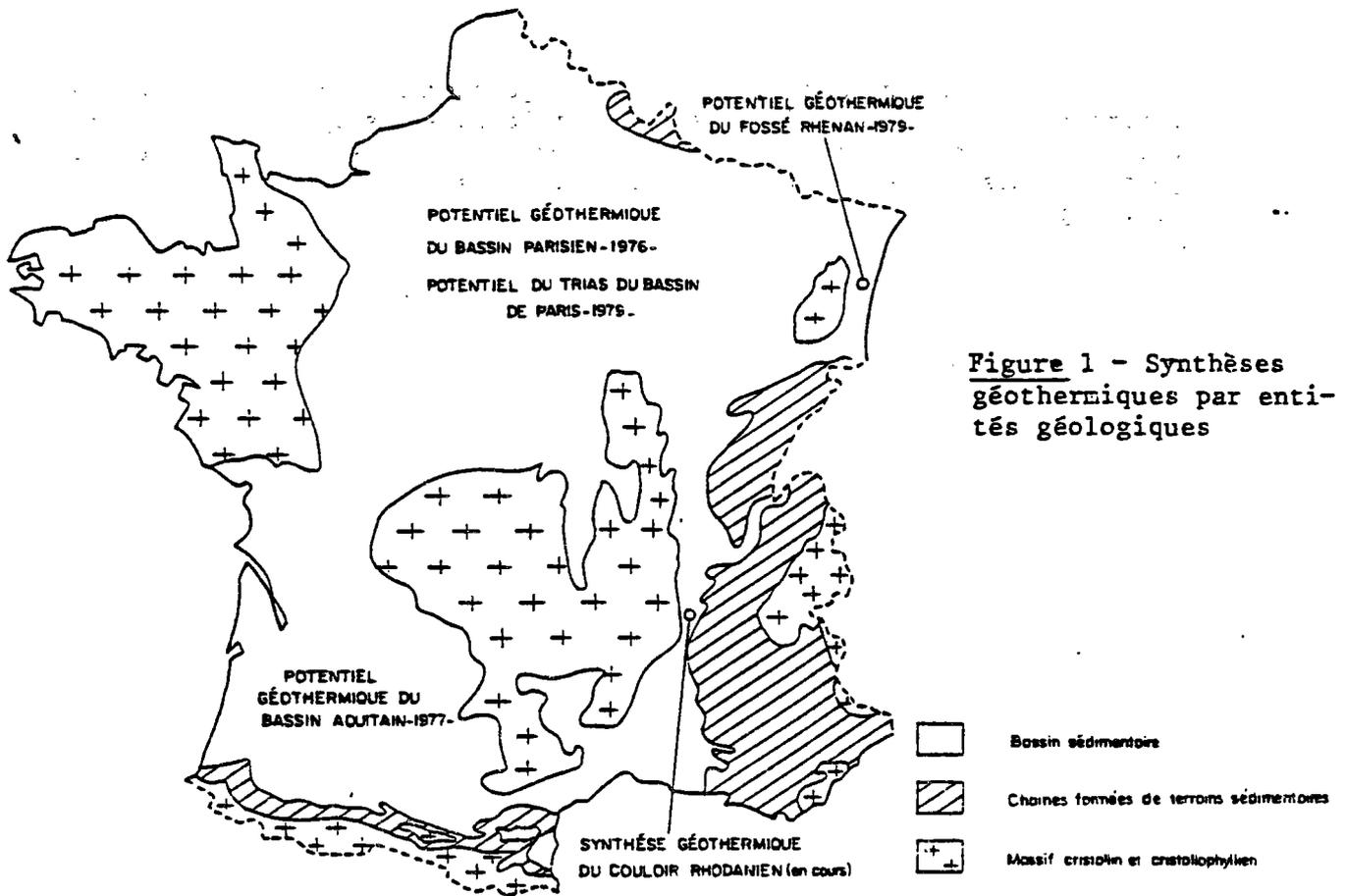
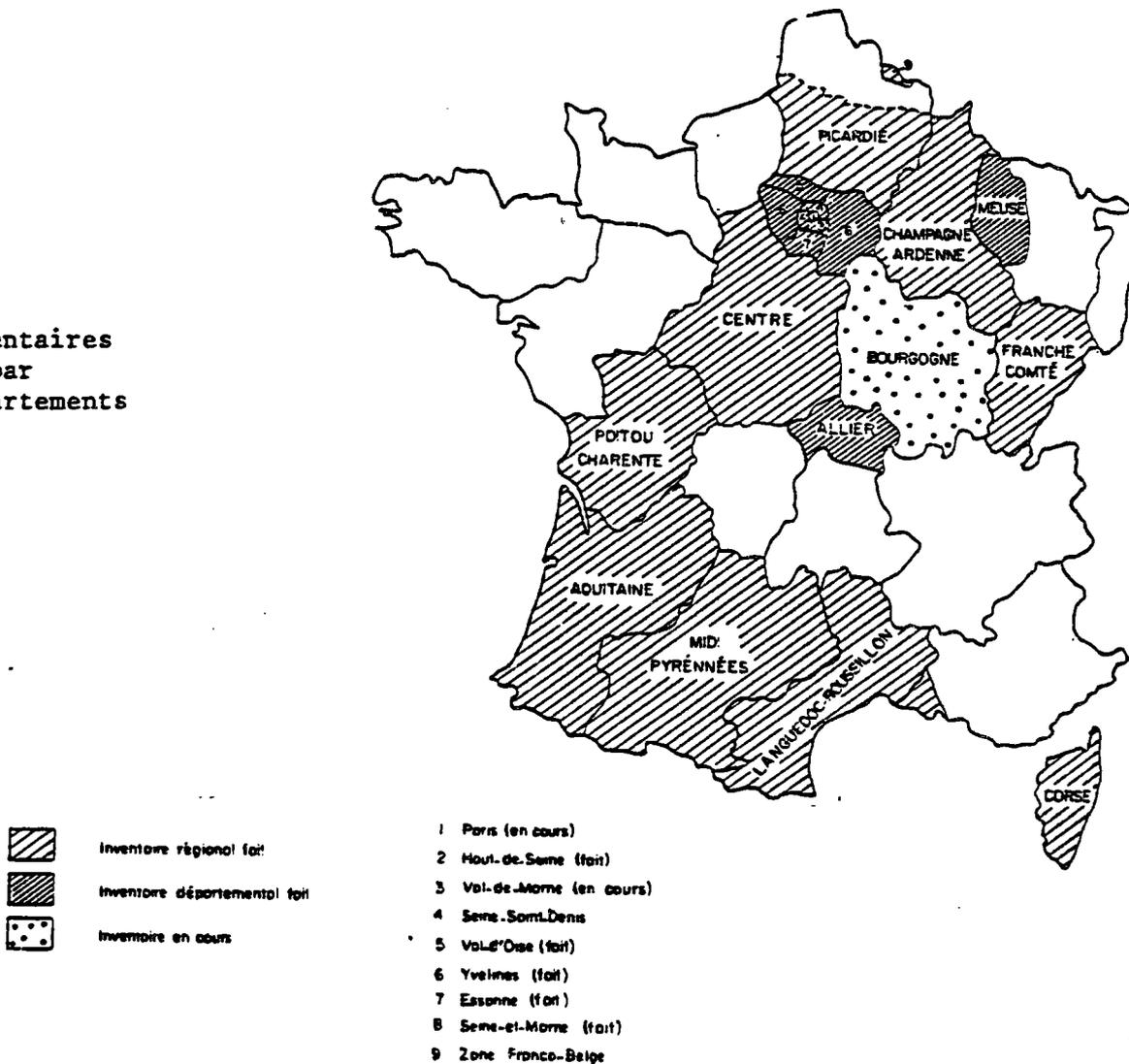


Figure 2 - Inventaires géothermiques par régions ou départements



Ces différents inventaires* établis à l'aplomb d'unités géologiques ou administratives, consistent parallèlement à une étude de besoins en surface en :

- une identification des réservoirs potentiels,
- une définition de leur extension géographique,
- la représentation cartographique des différents paramètres hydrogéologiques (profondeur - épaisseur - lithologie - porosité - pression de gisement - transmissivité - température - salinité).

La finalité des données sur lesquelles sont basées les études d'évaluation de potentiel géothermique n'était que rarement la géothermie. En effet, les informations provenant de l'exploration pétrolière, qui sont les plus nombreuses sont souvent très imprécises. Par contre, les reconnaissances géothermiques, le développement des champs pétroliers ou l'exploration et le développement des sites de stockage souterrain dans les aquifères apportent des informations d'une bonne précision.

Cette disparité dans la qualité et la répartition géographique des données sur lesquelles sont basées les études d'évaluation de potentiel géothermique nous ont amené à réfléchir sur l'homogénéité des études et conduit à introduire une notion de degré de connaissance de la ressource.

III - CHOIX DES PARAMETRES CARACTERISANT LA RESSOURCE

III.1. Les gisements

Les réservoirs potentiels et leurs extensions géographiques respectives, mis en évidence dans les différents inventaires de ressources géothermiques ont été repris.

III.2. Profondeur des réservoirs

Des cartes de profondeur de chacun des réservoirs ont été établies par synthèse des différents inventaires. La profondeur est le paramètre déterminant dans l'évaluation des coûts de forage et pour la température de la ressource.

III.3. Quantification de la ressource

Nous avons retenu pour l'évaluation quantitative de la ressource deux paramètres de base :

- la température des eaux géothermales
- la transmissivité des réservoirs.

* les références de ces inventaires sont reportées en annexes.

Des inventaires du potentiel géothermique des régions ou des départements ont été ensuite réalisés sur la base des synthèses géothermiques et des données nouvelles fournies par les forages pétroliers récents, géothermiques et de reconnaissance de site de stockage souterrain (cf. fig. 2).

JUN 1970

1970

1970

Température :

Les cartes de température sont réalisées à partir des mesures de température effectuées dans les forages pétroliers (température de boue - température de test) et dans les forages géothermiques (températures relevées au toit des réservoirs lors d'essai de production de longue durée - thermométrie enregistrée à l'équilibre thermique des puits). Elles expriment la température de l'eau dans le réservoir. La température en tête de puits est inférieure de un à quelques degrés, en fonction du débit et du diamètre du trou.

Transmissivité :

Elle se définit comme le produit de la hauteur productrice par la perméabilité moyenne sur cette hauteur. Elle peut être exprimée en Darcy-mètres (d.m). Ce paramètre est fondamental pour déterminer la productivité d'un réservoir.

Les données de transmissivités proviennent de l'interprétation des essais de production réalisés sur les forages géothermiques et de l'interprétation des tests de formation (DST) réalisés sur les forages pétroliers. Les mesures issues des forages pétroliers sont moins fiables.

Notons que certains réservoirs n'ont pas fait l'objet de reconnaissances géologiques suffisamment complètes pour qu'il soit possible de définir leur transmissivité et leur productivité.

Puissance thermique :

Il aurait été intéressant de pouvoir établir pour chacun des réservoirs une cartographie des puissances thermiques disponibles. Le paramètre n'a pas été retenu du fait de la difficulté de choisir a priori une température de réinjection. En effet, la température de rejet ou d'injection est une caractéristique variant d'une opération géothermique à une autre en fonction de la spécificité des besoins et des installations de surface.

* Rappelons que la puissance thermique fournie par la géothermie se définit par la relation suivante : $P = Q (T_{pr} - T_{re})$ avec

P : puissance thermique (th/h)

Q : débit en m³/h

T_{pr} : température de production en °C

T_{re} : température de rejet ou d'injection en °C

IV - DEGRE DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE

Le degré de connaissance est lié à la nature des reconnaissances géologiques qui ont été effectuées sur le réservoir, à la densité de ces reconnaissances, et enfin à la complexité du réservoir.

Nature des reconnaissances géologiques :

Les reconnaissances par campagnes géophysiques permettent de préciser la morphologie des structures géologiques.

Les reconnaissances par forages peuvent permettre d'identifier les réservoirs, de tester leur productivité et de mesurer les températures des eaux. Les forages, selon leurs objectifs (recherche pétrolière, géothermie,...) apportent des données de qualité variable.

Nous avons considéré que dans les zones potentiellement réservoir :

- une reconnaissance par forage géothermique ou par forage de recherche de site de stockage souterrain dans les aquifères apportait des données de productivité et de température fiables,
- une reconnaissance par forage d'exploration de type pétrolier apporte des éléments de productivité et de température qu'il convient de considérer avec une certaine prudence, mais les ordres de grandeur fournis restent généralement acceptables,
- une reconnaissance par forages pétroliers dans les champs de production apportent souvent des éléments de productivité plus complets que les forages d'exploration.

Dans les zones non-réservoirs, un forage pétrolier peut suffire pour prouver l'absence de réservoir (par exemple quand l'horizon intéressant se présente sous une lithologie non aquifère).

Densité de reconnaissance géologique :

Le degré de connaissance d'un réservoir est directement lié à la densité de forages qui le reconnaissent. Il est cependant impossible d'établir une relation entre la densité de forages (de même type) et le degré de connaissance des régions. En effet, pour une densité de reconnaissance égale, le degré de connaissance d'une région dans laquelle les paramètres de réservoir varient de façon continue et régulière sera différent du degré de connaissance d'une région dans laquelle les paramètres de réservoir varient d'une façon irrégulière et perturbée selon des règles actuellement en cours d'évaluation.

Classification des régions selon le degré de connaissance :

Nous avons défini trois classes de degré de connaissance basées sur la nature et la densité des reconnaissances géologiques.

Le tableau ci-après présente ces classes et leurs critères de définition respectifs.

DEGRE DE CONNAISSANCE	ZONE POTENTIELLEMENT RESERVOIR	ZONE NON RESERVOIR
BON	Existence de : . forages géothermiques . ou forages de recherche de site de stockage dans aquifères ou forage d'eau ou champ pétrolier	dans environnement géologique calme, existence de forages pétroliers d'exploration
MOYEN	Existence de forages pétroliers d'exploration- densité moyenne dans les zones à variation lente des paramètres géologiques Densité élevée dans les zones à variation rapide des paramètres géologiques	existence de forages pétroliers d'exploration avec densité faible dans environnements géologiques calmes
FAIBLE	Faible densité ou absence de forages	Faible densité ou absence de forages

Nous n'avons pas établi de carte de degré de connaissance de la ressource pour les aquifères très peu connus (c'est le cas par exemple des aquifères très profonds du Bassin Aquitain).

V - CLASSIFICATION DES RESSOURCES

La superposition des cartes définissant la quantité de ressources et des cartes définissant le degré de connaissance de la ressource nous conduit à classer les ressources en 9 ou 6 classes selon la nature des réservoirs.

Les figures 3 et 4 présentent respectivement les classifications des ressources dans des réservoirs à porosité de matrice et dans des réservoirs karstiques ou à porosité de fractures.

FIGURE 3

RESERVOIR A POROSITE DE MATRICE

QUANTIFICATION DE LA RESSOURCE

DEGRE DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE

basé sur le type de reconnaissance
et sur la densité d'informations

basée sur l'estimation de la transmissivité (K.H.)

	Transmissivité (K.H.) (en D.m)	$K.H > 10$	$3 \leq K.H \leq 10$	$0 \leq K.H \leq 3$
BON	Reconnaissance - par forage géothermique - par forage GDF - champ pétrolier	rouge	orange	bleu soutenu
MOYEN	Forage pétrolier	rose	jaune	bleu moyen
FAIBLE	Faible densité ou absence de forage	rose pâle	jaune pâle	bleu pâle

N.B. Les couleurs reportées dans le tableau sont celles indiquées sur les cartes de degré de connaissance et qualité de la ressource.

FIGURE 4

RESERVOIR A POROSITE DE FISSURE

QUANTIFICATION DE LA RESSOURCE

DEGRE DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE

(évaluation basée sur la densité d'information et sur le type de reconnaissance)

délicate du fait de son caractère aléatoire

	des indices de productivité par fracture existent	aucun indice n'a été repéré
BON		
A	Rouge soutenu + Hachures horizontales	Bleu soutenu
MOYEN		
FAIBLE	Rose pâle + Hachures horizontales	Bleu pâle

N.B. Les couleurs reportées dans le tableau sont celles indiquées sur les cartes de degré de connaissance et qualité de la ressource.

VI - RESSOURCES GEOTHERMIQUES DU BASSIN DE PARIS

La synthèse géothermique du Bassin de Paris a été réalisée en 1976. Elle a été mise à jour, à l'aide des données nouvelles de forages pétroliers et géothermiques lors de la réalisation de chacun des nombreux inventaires régionaux ou départementaux qui ont été réalisés depuis cette date.

Le Bassin Parisien est constitué par un ensemble de terrains sédimentaires déposés au long des ères primaires (Permien), secondaires et tertiaires, reposant sur un socle cristallophyllien ou granitique. Les couches sédimentaires plongent régulièrement vers le Centre du Bassin et atteignent leurs profondeurs maximales sous la Brie où leur épaisseur atteint 3 000 mètres. La tectonique du Bassin Parisien est très calme : seuls quelques grands accidents verticaux (faille du pays de Bray - faille de Rouen Rambouillet Sennely) et quelques ondulations de faible amplitude viennent perturber la disposition régulière des terrains sédimentaires.

La série sédimentaire renferme plusieurs aquifères dont les eaux présentent une température suffisante pour être exploitée en géothermie. Ce sont :

- les formations argilo-gréseuses ou calcaires du Lusitanien,
- les calcaires du Dogger,
- les formations détritiques du Trias.

Les réservoirs de l'Albien et du Néocomien dont les températures peuvent dépasser 40°C n'ont pas été pris en compte dans le cadre de cette étude du fait :

- de la protection administrative particulière de la nappe de l'Albien,
- de l'absence de synthèse géologique et géothermique du réservoir du Néocomien (les travaux sont en cours).

VI.1. Lusitanien

Sous ce terme impropre, mais couramment utilisé dans les documents pétroliers, on désigne les dépôts essentiellement carbonatés compris entre les marnes du Kimmeridgien et de l'Argovien. Cependant, les variations de faciès sont nombreuses et on peut distinguer :

- un réservoir carbonaté situé dans la partie inférieure du Lusitanien, présentant des caractéristiques favorables dans la zone centrale du Bassin de Paris,
- un réservoir grés-argileux situé dans la partie supérieure du Lusitanien et s'étendant au Nord d'une limite Dreux - Paris - Reims.

Dans la partie sud du bassin, les faciès carbonatés deviennent crayeux et constituent vraisemblablement de mauvais réservoirs.

La profondeur du réservoir, voisine de 1 100 mètres à l'aplomb de Paris, peut atteindre 1 500 mètres au centre du Bassin (carte 1).

Le réservoir carbonaté vient de faire l'objet de reconnaissances récentes de type géothermique (Reims - Orly) et de type recherche de stockage souterrain de gaz. Il présente de bonnes productivités dans une zone s'étendant de Paris à Reims. La température de l'aquifère peut atteindre 64°C (cf. carte 2).

Le réservoir grés-argileux vient aussi de faire l'objet de reconnaissances récentes ; des productivités intéressantes ont été observées dans la région de Soissons, Beauvais et de l'ouest parisien (cf. carte 2).

Il est intéressant de noter que l'aquifère du Lusitanien qui ne constituait pas un objectif pétrolier dans la plus grande partie du Bassin de Paris et était donc de ce fait mal connu, avait été considéré en l'absence d'informations, lors des études d'évaluation de son potentiel, comme un réservoir à la productivité limitée. Les récentes reconnaissances géothermiques ou gazières tendent à montrer que le potentiel géothermique du Lusitanien est intéressant. Ce fait montre l'intérêt de présenter sur les cartes d'évaluation de la ressource le degré de connaissance que l'on a de celle-ci.

La carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource que constitue l'aquifère du Lusitanien (carte 3) montre que cet aquifère présente des potentialités qui toutefois restent à confirmer sur de grandes zones. Cet aquifère constitue cependant une cible géothermique possible dans le Bassin Parisien.

VI.2. Dogger

Les calcaires oolitiques et graveleux du Dogger, qui affleurent à la périphérie du Bassin Parisien, s'enfoncent régulièrement vers le Centre du Bassin où ils atteignent leur profondeur maximale sous la Brie (1 800 mètres) (cf. carte 4).

La température des eaux du Dogger varie en région parisienne de 55 à 70°C et atteint 85°C dans la zone la plus profonde du Bassin.

Le réservoir présente de très bonnes productivités dans toute la partie centrale du Bassin Parisien et dans une moindre mesure en région Centre (cf. carte 5). On peut évaluer à :

- 9 600 km² la superficie des zones où la transmissivité du réservoir est supérieure à 10 darcy-mètre,
- 8 100 km² la superficie des zones où la transmissivité du réservoir est comprise entre 3 et 10 darcy-mètre.

A la périphérie du Bassin, le Dogger a été moins exploré et semble présenter des productivités moins importantes que dans la partie centrale du Bassin ; de plus, les températures sont généralement moins intéressantes en raison de la faible profondeur des réservoirs. Le Dogger se présente sous un faciès marneux et donc pas producteur à l'aplomb d'une zone allongée, le "sillon marneux" prenant en écharpe le Bassin Parisien de Rouen à Bourges.

Le réservoir du Dogger a été reconnu par de nombreux forages pétroliers ; plus de 20 opérations géothermiques exploitant ses eaux ont été ou sont en cours de réalisation dans le Bassin de Paris. Une carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource a été établie (carte 6). Il est l'aquifère profond le plus connu et constitue, en l'état actuel des connaissances, l'objectif géothermique principal.

VI.3. Trias

Les formations détritiques du Trias peuvent être aquifères en plusieurs zones du Bassin de Paris.

Dans la partie est du bassin, les grès du Trias inférieur, bien connus à l'affleurement en Lorraine, s'enfoncent progressivement vers l'ouest, tout en diminuant en épaisseur jusqu'à se biseauter à la limite des régions Lorraine et Champagne (cf. carte 7). Leur profondeur atteint 1 700 mètres et leur température peut s'élever à 70°C (cf. carte 8). Ces grès sont très productifs en Lorraine où ils sont exploités pour l'alimentation en eau potable ; leurs caractéristiques hydrodynamiques décroissent d'est en ouest ; ils n'ont fait l'objet que de peu de reconnaissances géologiques, en particulier à l'aplomb du département de la Meuse, région dans laquelle leur température est la plus intéressante. Il est difficile de déterminer précisément leur productivité dans cette région. Notons que la salinité des eaux peut être très importante (> 200 g/l).

En région Centre, à l'aplomb de la Sologne, d'épaisses formations gréso-argileuses datées du Trias moyen ou supérieur, reposent sur les dépôts permien ou sur le socle à une profondeur pouvant dépasser 1 900 mètres (cf. carte 9). Les formations peuvent constituer de bons aquifères. Cette région offre par ailleurs l'avantage d'être soumise à un flux de chaleur plus élevé que dans le reste du Bassin de Paris. Ainsi, au coeur de la fosse de Sologne, les eaux du Trias peuvent se trouver à des températures dépassant 80°C (carte 10). La productivité du réservoir est relativement bien connue en Sologne, dans la mesure où ce réservoir fait l'objet de reconnaissances de site de stockage souterrain de gaz. Il constitue de ce fait le principal objectif géothermique de la région Centre.

En région Parisienne, les formations détritiques du Trias peuvent constituer un objectif géothermique dans une zone allongée, centrée sur la Basse Seine. La température des eaux peut dépasser 80°C (carte 10).

La productivité de ce réservoir n'a toutefois pas permis son exploitation au forage géothermique de Cergy. Les premiers résultats du forage d'Achères sont positifs. La productivité de cette zone est difficile à déterminer du fait de l'absence de forage à l'aplomb de l'agglomération parisienne.

Les réservoirs du Trias constituent donc des cibles géothermiques :

- intéressantes (bonne productivité et température élevée) en région Centre,
- intéressantes (température élevée), mais risquées (productivité incertaine) en région Parisienne et dans le département de la Meuse.

VII - RESSOURCES GEOTHERMIQUES DU BASSIN AQUITAIN

Une première synthèse géothermique du Bassin Aquitain a été réalisée en 1979. Elle a été récemment mise à jour pour les régions Midi-Pyrénées et Aquitaine.

Le Bassin Aquitain est une unité géographique et géologique limitée au Nord et à l'Est par les massifs anciens (Massif Armoricaïn et Massif Central), au Sud par la chaîne des Pyrénées, ainsi que par les seuils qui relient ces massifs (seuil du Poitou, seuil de Narouze).

Le Bassin est formé d'une vaste accumulation de sédiments essentiellement détritiques du tertiaire recouvrant des séries sédimentaires marines du secondaire de nature variée qui reposent au Nord et à l'Est sur les massifs anciens. Au Sud, les dépôts tertiaires sont en contact brutal avec la chaîne des Pyrénées par un système de failles ou de flexures sous le remplissage tertiaire. La structure profonde des couches sédimentaires se présente différemment de part et d'autre de la flexure celtaquitaine (axe passant par Arcachon et Montauban) :

- le secteur Nord appartient à la plate-forme européenne et est caractérisé par une épaisseur réduite des sédiments et des immersions nombreuses ;
- le secteur Sud, avant-pays de la zone orogénique des Pyrénées est caractérisé par des épaisseurs considérables de sédiments et une tectonique extrêmement complexe.

La série sédimentaire renferme plusieurs aquifères dont les eaux présentent une température suffisamment élevée pour être exploitée en géothermie, ce sont :

- Eocène,
- Danio-Paléocène
- Crétacé supérieur (Cénomanién Turonien)
- Crétacé inférieur,
- Jurassique supérieur et moyen,
- Lias moyen,
- Lias inférieur et Trias.

VII.1. Eocène

Les formations aquifères de l'Eocène, qui couvrent pratiquement toute la surface du Bassin Aquitain, sont constituées par des dépôts sableux et carbonatés qui forment un système aquifère multicouche. Ces aquifères font l'objet de nombreux captages pour l'eau potable, le stockage souterrain de gaz (Lussagnet-Izante), la géothermie (Nogaro, Blagnac, Saint-Cricq).

La profondeur, peu importante dans le Nord du Bassin, dépasse 1 000 mètres dans les régions de Toulouse, Mirande, Tarbes et au sud de Mont-de-Marsan (carte 11). La température des eaux peut dépasser 50°C dans les zones les plus profondes.

Etant donné le grand nombre d'essais de production réalisés sur cet aquifère, la productivité est mieux connue que celle des autres aquifères du Bassin Aquitain (carte 12). Les eaux sont généralement douces.

Bien que contenant des eaux à des températures dépassant rarement 50°C, les aquifères de l'Eocène constituent un objectif géothermique intéressant (carte 13). C'est l'un des réservoirs les mieux connus du Bassin Aquitain.

VII.2. Paléocène Danien

Les formations carbonatées ou détritiques du Paléocène et du Danien ne forment qu'un seul réservoir qui couvre une surface réduite du Bassin Aquitain. Elles contiennent des réservoirs dont l'alimentation se fait essentiellement par connection avec d'autres aquifères (nappe de l'Eocène).

Les réservoirs se trouvent à des profondeurs de 1 000 à 2 500 mètres (carte 14). Leur température peut atteindre 80°C (carte 15). Les eaux du Dano-paléocène sont douces sur une grande étendue. Les productivités sont souvent importantes, mais présentent un caractère aléatoire lié à la nature karstifiée des réservoirs. Dans les fosses profondes (Pamiers - Mirande), la productivité n'est pas connue précisément.

Le paléocène constitue selon toutes vraisemblances un bon objectif géothermique dans le sud du Bassin Aquitain, mais sa productivité demeure mal connue.

VII.3. Crétacé supérieur

Les formations généralement carbonatées du Crétacé supérieur (Cénomaniens à Senoniens supérieurs) contiennent des réservoirs situés sur tout ou partie de la formation et couvrent une grande partie du Bassin Aquitain. Ces formations sont parfois karstifiées et peuvent fournir des débits importants.

Les forages géothermiques de Dax et Mont-de-Marsan exploitent les eaux des dolomies karstiques de cette formation. Les forages géothermiques de la région bordelaise (Mériadeck - Bénauges - Pessac) exploitent les eaux contenues dans les réservoirs gréseux et carbonatés du Cénomaniens et de la base du Turonien.

Dans la région bordelaise, ce sont essentiellement les sables du Cénomaniens et les calcaires de la base du Turonien qui sont intéressants :

Dans le secteur d'Arcachon - Agen - Saint Gaudens, toute la série est carbonatée et souvent karstifiée.

Dans le Sud-Est du Bassin, on trouve imbriqués ou superposés plusieurs réservoirs détritiques gréseux.

La carte des profondeurs (carte 16) et des températures (carte 18) a été établie au toit du premier réservoir que l'on rencontre dans le Crétacé supérieur.

Des productivités (carte 17) importantes, quoique aléatoires dans les zones karstifiées, peuvent être espérées. Les réservoirs du Crétacé supérieur constituent un des principaux objectifs géothermiques du Bassin Aquitain.

VII.4. Crétacé inférieur

Les formations du Crétacé inférieur se répartissent en deux zones géographiques qui correspondent aux bassins de sédimentation de Parentis d'une part et de l'Adour et Mirande d'autre part.

La dispersion et la variation rapide des faciès entraînent une imbrication complexe des aquifères qui peuvent cependant être divisés en deux ensembles :

1. Réservoirs albo-aptien (ensemble supérieur)

Dans le Bassin de Parentis, les réservoirs carbonatés sont localisés à la périphérie et les réservoirs gréseux au Centre.

Dans le Bassin d'Adour et de Mirande, les formations aquifères sont constituées par des calcaires dolomités et souvent fracturés, karstifiés (secteur occidental) et d'autre part par des calcaires récifaux (calcaire de Lacq). Au Sud du bassin existent quelques niveaux gréseux.

2. Réservoirs de la base du Crétacé (ensemble inférieur - Aptien inférieur - Barremien - Néocomien)

Dans le Bassin de Parentis, ils occupent une plus grande surface que ceux de l'ensemble supérieur, souvent en continuité avec les aquifères du Jurassique supérieur et constituant un système aquifère vaste et complexe. Ils sont carbonatés au Sud et à l'Est du bassin, et détritiques à l'Ouest et au Nord.

Dans le Bassin de l'Adour et Mirande, seuls les calcaires du Barremien constituent un réservoir intéressant au Nord du bassin.

Cet ensemble inférieur se présente moins favorablement que l'Albo-Aptien et est de plus, soit mal connu (Bassin de Mirande), soit situé à trop grande profondeur (Bassin de l'Adour).

La profondeur du toit des formations aquifères (carte 19) dépasse 2 000 mètres dans le Bassin de Parentis et peut dépasser 6 000 mètres dans le Bassin de l'Adour. La température est suffisante pour être intéressante pour une exploitation en géothermie.

Dans le Bassin de Parentis, les données de productivité sont abondantes (carte 20). Les perméabilités des calcaires peuvent être supérieures à 1 darcy-mètre sur des épaisseurs importantes (bonne transmissivité) et laissent espérer des débits d'exploitation importants. Les eaux sont généralement salées et peuvent contenir des hydrocarbures.

Dans le Bassin de l'Adour, les données sont plus rares (carte 20).

Cependant, on peut observer un grand nombre d'indices de karstification ou de fracturation importante. Les eaux sont salées dans la fosse de l'Adour et douce ou peu salée dans la région de Mirande.

Ainsi, les réservoirs du Crétacé inférieur peuvent constituer des objectifs géothermiques dans le Bassin de Parentis et dans le Bassin de l'Adour, ainsi que dans le Sud du Bassin Aquitain.

VII.5. Jurassique supérieur et moyen

Dans cet ensemble, nous considérons tout un groupe de réservoirs carbonatés.

1. Les réservoirs du Portlandien - Kimmeridgien Supérieur (Dolomie de Mano)

Leur extension est limitée aux bassins de Parentis et de l'Adour. La dolomie de Mano se trouve à des profondeurs généralement supérieures à 1 000 mètres & pouvant dépasser 4 000 mètres au pied des Pyrénées (carte 21). La carte 22 présente la distribution des températures au toit de l'aquifère.

Les forages pétroliers ont généralement traversé ce niveau en pertes totales ou partielles, ce qui peut, en l'absence d'informations de productivité plus précises, laisser penser que cet aquifère possède des caractéristiques hydrodynamiques intéressantes pour une exploitation en géothermie. Une estimation quantitative de la productivité de la Dolomie de Mano, basée sur la porosité, l'épaisseur et les pertes observées en forage a été réalisée (carte 23).

Les eaux de la dolomie de Mano sont douces sur une grande étendue du Bassin.

2. Les réservoirs du Kimmeridgien à Dogger

Les calcaires de barrière déposés pendant cette période d'Angoulême à Auch présenteraient des caractéristiques hydrogéologiques favorables. Seuls, dans la région d'Agen, quelques forages d'eau les exploitent à des débits de l'ordre de 150 m³/h. Leur profondeur est voisine de 700 m dans cette région (carte 24). Ailleurs, les données permettant d'évaluer leur potentiel géothermique manquent.

Ainsi, les réservoirs carbonatés jurassiques du Bassin Aquitain constituent un important potentiel géothermique qu'il est toutefois difficile de quantifier en l'absence d'informations précises concernant leur productivité.

VII.6. Lias moyen

Sous une couverture argileuse quasi-permanente s'étend une succession de réseaux calcaires et dolomitiques perméables qui couvrent la presque totalité du Bassin d'Aquitaine.

Ces calcaires dont l'épaisseur peut dépasser 100 mètres présentent des porosités élevées au Nord de Bordeaux et dans la région de Nerac. En l'absence de tests, la productivité du réservoir est mal connue.

Ce réservoir s'enfonce vers le Sud du bassin jusqu'à des profondeurs dépassant 4 000 mètres (carte 26) et la température peut dépasser 100°C (carte 27). Le domaine où l'eau est douce est très réduit (région d'Agen).

Bien que peu connu dans le Bassin Aquitain, la nappe des calcaires et dolomies du Lias moyen constitue un objectif géothermique intéressant du fait de la température élevée de ses eaux.

VII.7. Lias inférieur - Trias

Cet aquifère est le plus profond des réservoirs reconnus dans le Bassin Aquitain (carte 28). Il est constitué par la Dolomie de Carcans (niveau peu épais mais continu), les grès du Lias inférieur et les grès du Trias supérieur formant un vaste piémont au Nord de la flexure celtaquitaine; leur profondeur croit vers le Sud. Ils sont pratiquement inconnus dans le Sud de l'Aquitaine.

Les grès du Lias inférieur et du Trias sont exploités pour l'eau potable à Rochefort. Ils ont fait l'objet d'une opération géothermique à Jonzac où il y a un débit de 40 m³/h à 62°C. Ils présentent de bonnes porosités près du Massif Central et de fortes épaisseurs près de Bergerac et sous le Médoc, et laissent espérer de bonnes transmissivités. Dans la majeure partie du Bassin, leur productivité est inconnue.

La carte des températures a été établie par extrapolation des températures relevées à d'autres niveaux et est donc certainement imprécise (carte 29).

Contrairement aux autres réservoirs du Bassin Aquitain, la salinité est relativement importante (jusqu'à 100 g/l), même lorsque la nappe n'est pas profonde.

Les grès du Trias et du Lias inférieur peuvent donc constituer un objectif géothermique intéressant dans le Nord de l'Aquitaine, sous le Médoc où l'eau peut être à une température dépassant 80°C et dans la région de Bergerac où il est le seul aquifère profond. Il demeure cependant encore peu connu.

VIII - RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN ALSACE

La synthèse géothermique de l'Alsace a été effectuée en 1979 dans le cadre plus général de l'étude du fossé rhénan.

La plaine du Rhin est constituée par la dépression située entre les massifs cristallins des Vosges et de la Forêt Noire et correspond à un fossé d'effondrement. L'effondrement s'étant produit pendant l'ère tertiaire lors de la formation des Alpes, on trouve sous une épaisse série de remplissage (l'épaisseur des dépôts tertiaires et quaternaires peut atteindre plusieurs km) des couches sédimentaires comparables à celles du Bassin Parisien :

- Malm carbonaté
- Dogger carbonaté "Grande Oolite"
- Muschelkalk carbonaté
- Trias inférieur grés-argileux.

Contrairement à la tectonique du Bassin Parisien, celle de l'Alsace est très complexe : des failles aux rejets importants décalent les formations non seulement en bordure du fossé, mais sous toute la plaine du Rhin. Dans ce type d'environnement structural très compartimenté, la position d'un aquifère est parfois difficile à déterminer.

Outre un comportement thermique moyen favorable (gradients moyens de l'ordre de 4°/100m), le fossé alsacien se caractérise par la présence d'anomalies locales (gradients géothermiques très élevés pouvant atteindre 10°/100 mètres). En contrepartie, l'eau des réservoirs est très salée (100 g/l environ pour la nappe du Dogger, plus de 250 g/l pour le Trias inférieur).

Parmi tous les terrains sédimentaires de l'Alsace, nous retiendrons quatre niveaux aquifères :

- les carbonates de Malm (Séquanien - Rauracien)
- les calcaires du Dogger
- les calcaires du Muschelkalk supérieur
- les grès du Trias inférieur.

VIII.1. Les calcaires du Malm

Les calcaires sublithographiques, coralliens, parfois oolitiques du Malm (Séquanien Rauracien) n'existent que dans le Sud de la plaine du Rhin (région de Mulhouse Bâle) où ils peuvent constituer un objectif géothermique (carte 30).

La température des eaux peut dépasser 90°C (carte 31) dans le bassin potassique et décroît fortement à l'Est d'une ligne Mulhouse Altkirch.

Bien que les calcaires qui constituent le réservoir soient peu poreux, les quelques essais de productivité réalisés ont montré des venues d'eau importantes liées à une fracturation importante.

Etant donné le caractère aléatoire de la fracturation et la faible densité de reconnaissance, l'estimation de la productivité de chacun des points du réservoir est impossible à faire.

Les calcaires du Malm peuvent constituer un objectif géothermique dans la région de Mulhouse. Leur potentiel géothermique est faible étant donné la faible superficie des zones où la température des eaux est suffisante pour être intéressante. D'autre part, le caractère très aléatoire de la productivité rend très risqué la réalisation d'opération géothermique exploitant ce réservoir.

VIII.2. La grande oolithe (Dogger)

Les formations du Dogger sont présentes quasiment sous toute la plaine du Rhin. Cependant, leur faciès devient marneux et ne permet pas d'envisager d'exploitation au Nord d'une ligne Haguenau-Gambsheim. Au Sud de cette ligne les calcaires sont oolitiques.

La profondeur du toit de la "grande oolithe" peut atteindre 2 500 mètres (au Nord de Strasbourg) (carte 32). Les températures des eaux qu'elle contient sont généralement élevées et dépassent 100°C dans les régions de Mulhouse - Strasbourg - Neuf Brisach et Cernay (carte 33).

La "grande oolithe" ne présente des porosités importantes ($\geq 15\%$), comparables à celles du Dogger du Bassin de Paris, que dans une zone d'extension réduite située au Sud de Strasbourg. Dans la partie centrale du fossé rhénan, entre Colmar et Strasbourg, les porosités sont moyennes (10 à 15 %). Dans le reste de la plaine, les calcaires sont compacts.

Des indices de fracturation importante ont été observés au Sud de Strasbourg et dans la région de Mulhouse. Des productivités importantes ont été localement relevées.

L'évaluation et la cartographie de la productivité de ce réservoir sont difficiles à réaliser en l'état actuel des connaissances en raison de la difficulté de prévoir la fracturation et du petit nombre d'essais permettant de calculer les transmissivités du réservoir.

Les productivités mesurées, même dans la zone à forte porosité, sont cependant très inférieures aux résultats observés dans le Bassin de Paris.

Dans ces conditions, la "grande oolithe", ou réservoir du Dogger, constitue en Alsace un objectif géothermique intéressant, mais dont le potentiel est cependant beaucoup plus aléatoire que celui du Bassin de Paris.

VIII.3. Muschelkalk supérieur

Les formations sont constituées de calcaires gris, résistants à entroques, et de calcaires marneux. Ils peuvent surmonter des dolomies et des calcaires ou grès dolomitiques. Leur profondeur peut atteindre 2 300 mètres (carte 34) et les températures s'élever à 150°C (carte 35).

Les calcaires sont très compacts et ne peuvent constituer un réservoir que quand ils sont très fracturés.

Leur productivité est, en l'absence d'information, pratiquement inconnue. Ils ne peuvent constituer en Alsace qu'un objectif géothermique secondaire.

VIII.4. Buntsandstein

Les formations détritiques (grès et argiles) du Trias inférieur (Buntsandstein) existent sous toute l'Alsace. La granulométrie des grès diminue du Sud au Nord alors que leur épaisseur augmente.

N'étant pas un objectif pétrolier, cette formation a été très peu reconnue (moins de cinquante forages l'ont traversé. Cet aquifère étant l'objectif du forage de Cronembourg, seul forage géothermique réalisé en Alsace, n'a toutefois pas pu être mis en exploitation.

La profondeur du toit du réservoir peut dépasser 3 000 mètres (carte 36) et les températures peuvent atteindre 150°C (carte 37).

Les grès du Trias inférieur constituent donc un objectif géothermique très intéressant du fait de la température exceptionnellement élevée de ses eaux : cependant, ils n'ont fait l'objet que de peu de reconnaissances et le risque lié à la réalisation d'opération géothermique les exploitant est grand.

IX - AUTRES REGIONS

IX.1. Ressources géothermiques dans le Hainaut (Région Nord/Pas de Calais)

L'existence d'un réservoir aquifère dans le calcaire carbonifère de la bordure Nord du Bassin charbonnier franco-belge a été prouvée par deux forages d'exploration géothermiques réalisés en Belgique (dans la région frontalière) qui ont fourni des débits artésiens supérieurs à 100 m³/h à une température de l'ordre de 70°C. Ce réservoir a fait l'objet de synthèses régionales.

La prolongation de ce réservoir (de type karstique) vers la France peut être supposée étant donné la continuité vers l'Est de la structure géologique observée en Belgique et les venues d'eaux chaudes observées en surface à Saint-Amand-les-Eaux.

En l'absence de forages et données géophysiques, il est difficile de préciser l'extension du réservoir et d'évaluer ses profondeurs, productivités et températures.

La carte 38 présente les principales données concernant le réservoir aquifère. Les calcaires carbonifères constituent néanmoins dans cette région un objectif géothermique intéressant malgré le risque important lié à la réalisation d'opérations.

IX.2. Ressources géothermiques en Poitou-Charente

La région Poitou-Charente se trouve centrée sur le seuil du Poitou.

Les dépôts sédimentaires sont d'épaisseur réduite sur le seuil, s'épaississent en s'enfonçant au Nord vers le Bassin et Paris et au Sud vers le Bassin Aquitain.

Un inventaire des ressources géothermiques a été réalisé. Seule, la partie Sud de la région recèle des ressources aquifères (Trias - Lias inférieur) dont la température est suffisante pour être utilisée en géothermie.

Cette région n'a fait l'objet que de peu de reconnaissance par forage. La productivité du réservoir est difficile à prévoir.

Un forage géothermique a été réalisé à Jonzac où l'aquifère du Trias - Lias inférieur a fourni 40 m³/h d'eau à 61°C.

Bien que le potentiel géothermique de cette région soit assez limité (en raison de la faible superficie possédant des ressources à température intéressante et de la productivité moyenne des réservoirs), quelques opérations géothermiques pourraient y être envisagées.

IX.3. Ressources géothermiques dans le département de l'Allier

Le département de l'Allier a fait l'objet d'un inventaire de ressources géothermiques.

Les ressources de basse énergie sont à rechercher dans les formations sédimentaires qui comblent les fossés d'effondrement de Limagne.

Un réservoir de qualité assez médiocre a été mis en évidence dans les formations détritiques du Stampien inférieur (carte 39). Aucun indice de productivité importante n'a été repéré.

Notons que deux puits géothermiques ont été forés dans la partie Sud de Limagne (Beaumont-les-Vergnes) et se sont soldés par des échecs du fait de la très mauvaise productivité du réservoir stampien.

Bien que cette région n'ait pas fait l'objet de reconnaissance très dense, on peut penser que son potentiel géothermique est faible.

IX.4. Ressources géothermiques en Franche-Comté

Une grande partie du territoire de la Franche Comté est occupée par la chaîne du Jura qui est bordée de dépressions, la plaine de la Bresse à l'est, les plateaux de Haute Saône au nord ouest, et l'extrémité du fossé rhénan au nord.

La région est tectoniquement très complexe et a fait l'objet de reconnaissances géologiques beaucoup moins denses que le Bassin Parisien par exemple (123 forages profonds à plus de 3 500).

Un inventaire des ressources géothermiques a été réalisé : les formations du Dogger, du Rhétien, du Muschelkalk supérieur et du Buntsandstein ont été étudiées.

Nous n'avons pas retenu dans le cadre de la présente étude, les réservoirs du Dogger (peu profond dans la plus grande partie de la région et souvent compact), du Rhétien (dont l'épaisseur ne dépasse pas 10 mètres).

Réservoir du Muschelkalk supérieur

Les formations dolomitiques ou calcaires dolomitiques peuvent constituer des réservoirs quand elles sont fissurées ou fracturées. Les tests de productivité se sont révélés à de rares exceptions près négatifs.

Les cartes 40 et 41 présentent respectivement la profondeur de la formation et les températures et zones où le réservoir pourrait être présent. Etant donné d'une part le caractère très aléatoire de la ressource à la nature dû à la nature de réservoir et d'autre part aux mauvais résultats des tests, le risque lié à la réalisation d'opération visant cet aquifère est très grand.

Réservoir du Buntsandstein

Les formations grés-argileuses du Buntsandstein, présentes de façon quasi permanente en Franche Comté constitue le principal réservoir potentiel en Franche Comté.

Sa productivité est cependant assez mal connue et la température de ses eaux peut dépasser 40°C. Les épaisseurs de grès poreux sont nettement inférieures à celles du Trias de la région Centre par exemple.

Les cartes 42 et 43 présentent respectivement les profondeurs du réservoir et les températures au toit de l'aquifère.

Conclusion

Bien que des réservoirs potentiels aient été mis en évidence, le potentiel géothermique de la Franche Comté semble assez limité. Le risque lié à la réalisation d'opérations géothermiques est grand du fait de la difficulté d'évaluer la productivité des réservoirs en de nombreux endroits et des températures généralement assez basses des aquifères.

Une stratégie de reconnaissance par forage d'exploration est à envisager dans cette région tectoniquement très complexe.

IX.5. Ressources géothermiques en Languedoc-Roussillon

Dans cette région, il est difficile de réaliser des inventaires de type classique du fait de la complexité structurale et de l'absence de continuité dans la variation des paramètres hydrogéologiques.

Seules des études ponctuelles ou des études régionales identifiant les zones d'intérêt ont été réalisées. En général, ces études (tectonique complexe - réservoir de type karstique) mettent en évidence un risque géologique important et recommandent des explorations préalables à la réalisation de chacun des projets. Dans le cadre de cette étude, nous ne présentons qu'une liste non exhaustive des principaux aquifères potentiels par secteur géographique.

- secteur de Montpellier :

Les calcaires du Dogger (30°C - 500 m) et les formations dolomitiques du Lias (2 000 m - 70°C) constituent les deux objectifs géothermiques principaux. Notons que le Dogger a fait l'objet de reconnaissance par forage d'exploration géothermique ;

- secteur de Sète :

Les réservoirs karstiques du Jurassique supérieur (200 mètres - 40°C) et du Dogger (1 200 mètres - 57°C) sont les réservoirs susceptibles d'être exploités en géothermie ;

- secteur de Béziers :

A l'aplomb de Béziers, les calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur (1 700 m - 55°C) et du Lias inférieur (2 250 m à 65°C) constituent des objectifs géothermiques.

- secteur de Lodève :

Les calcaires et dolomies du Géorgien peuvent atteindre des températures de 50°C et constituer un objectif géothermique dans le Bassin de Lodève ;

- vallée de l'Hérault :

Les calcaires et dolomies jurassiques peuvent constituer un objectif géothermique. Notons qu'elles constituaient la cible du forage géothermique de Cap d'Agde et qu'elles n'ont pas été rencontrées ;

- secteur de Perpignan :

Un réservoir gréseux existerait à faible profondeur (400 m) dans les sédiments miocènes ;

- bassin de l'Aude :

Quelques niveaux gréseux existent dans les formations de l'Eocène (950 mètres à Carcassonne). Leur productivité est mal connue ;

- Camargue :

Les dolomies du Jurassique supérieur qui peuvent constituer des objectifs géothermiques ont été reforées aux Saintes-Marie-de-la-Mer et à Albaron.

Ainsi, le potentiel géothermique de cette région est difficile à évaluer du fait de la grande complexité géologique et des incertitudes sur les productivités et températures. Une stratégie d'exploration est à promouvoir pour valoriser le potentiel géothermique de cette région.

IX.6. Ressources géothermiques en Provence - Côte d'Azur

Seule la partie Sud-Ouest (triangle Arles, Avignon, Etang de Berre) a fait l'objet d'un inventaire de ressources. L'inventaire des ressources de l'autre partie de la région est en cours de réalisation.

La structure géologique est complexe et le risque géologique lié à la réalisation d'opérations est généralement important.

Dans cette zone, trois réservoirs sont susceptibles de constituer des objectifs géothermiques :

- l'aquifère du Burdigalien, généralement peu profond, peut être utilisé pour l'alimentation de pompes à chaleur,
- l'aquifère de l'Urgonien atteint à l'aplomb des zones urbanisées de l'étang de Berre des profondeurs de plus de 1 300 mètres et sa température peut atteindre 75°C. Les données de productivité sont rares, mais permettraient d'envisager des débits intéressants,
- l'aquifère du Jurassique calcaire dont la profondeur peut atteindre 2 500 mètres présente des productivités importantes quand il est fissuré. La température pourrait atteindre 90° dans la région de Berre.

Il convient dans cette région d'aborder la mise en valeur du potentiel géothermique au moyen d'une stratégie d'exploration adéquate étant donné la faible connaissance qu'on a de la ressource.

IX.7. Ressources géothermiques dans le couloir rhodanien

Cette entité géologique n'a, à ce jour, pas fait l'objet d'une synthèse géothermique.

Deux opérations géothermiques (Bourg-en-Bresse, Valence) ont été tentées dans cette région et se sont soldées par des échecs (productivité des puits nulle ou faible).

D'autre part, aucun réservoir ne semble exister à l'aplomb de l'agglomération lyonnaise.

On peut penser, bien que les synthèses géothermiques soient en cours de réalisation, que le potentiel géothermique de cette région est vraisemblablement limité et que le risque lié à la réalisation d'opération y est grand.

IX. 8. Ressources géothermiques en Corse

Cette région a fait l'objet d'un inventaire de ressources géothermiques. Son potentiel semble très faible ; aucun facteur a priori favorable à l'existence d'un réservoir géothermique n'a pu être décelé.

X. CONCLUSION

L'état des connaissances en matière de ressources géothermiques de basse énergie en France, présenté sommairement dans les chapitres précédents, nous conduit à constater que l'essentiel du potentiel géothermique connu est situé dans les deux grands bassins sédimentaires français : le Bassin Parisien et le Bassin Aquitain.

Dans chacun de ces bassins, plusieurs réservoirs peuvent constituer des cibles géothermiques dans des gammes de température s'établissent entre 25 et parfois plus de 100°C. De plus, le degré de connaissance de la ressource (productivité - température) dans ces bassins est généralement très supérieur à celui des autres régions qui sont géologiquement plus compliquées et qui ont fait l'objet de reconnaissances géologiques moins intenses.

Dans le Bassin Parisien, le Dogger constitue la cible géothermique privilégiée du fait de productivités élevées sur une grande partie de son étendue. De plus, c'est l'aquifère qui est, comparativement aux autres, le mieux connu et donc, les risques géologiques sont relativement faibles. Le Trias présente sur de grandes étendues des potentialités, notamment en Lorraine où le Dogger n'est pas intéressant. Il demeure toutefois moins connu que le Dogger. Le Lusitanien, bien que peu reconnu et offrant des températures plus basses, peut offrir localement des cibles géothermiques intéressantes. La figure 5 ci-après récapitule les superficies où les aquifères présentent des productivités bonnes ou moyennes ainsi que le degré de connaissance qui leur est lié.

Dans le Bassin Aquitain, les aquifères intéressants pour la géothermie sont nombreux et inégalement connus. La figure 6 présente les deux aquifères qui ont été les cibles de pratiquement toutes les opérations de géothermie en Aquitaine, l'Eocène et le Crétacé supérieur. Ces aquifères couvrent de grandes étendues et sont inégalement connus.

Le potentiel géothermique des autres régions (Alsace, Sud-Est, Couloir Rhodanien, Franche-Comté...) n'est néanmoins pas nul et implique, dans la mesure où on convient de le valoriser, la mise en place de stratégies et de techniques particulières relevant de l'exploration et prenant en compte les risques importants liés à la réalisation d'opérations dans ce type de contexte géologique difficile.

La figure 7 présente de façon schématique l'ensemble des ressources géothermiques françaises et le degré de connaissance qui leur est lié.

* Les ratios de succès des forages géothermiques réalisés région par région sont voisins de 95 % dans le Bassin Aquitain, de 85 % dans le Bassin Parisien, et nul ou faible dans les autres régions (Alsace - Limagne - Couloir Rhodanien...).

Figure 5

PRINCIPAUX RÉSERVOIRS GÉOTHERMIQUES

BASSIN PARISIEN

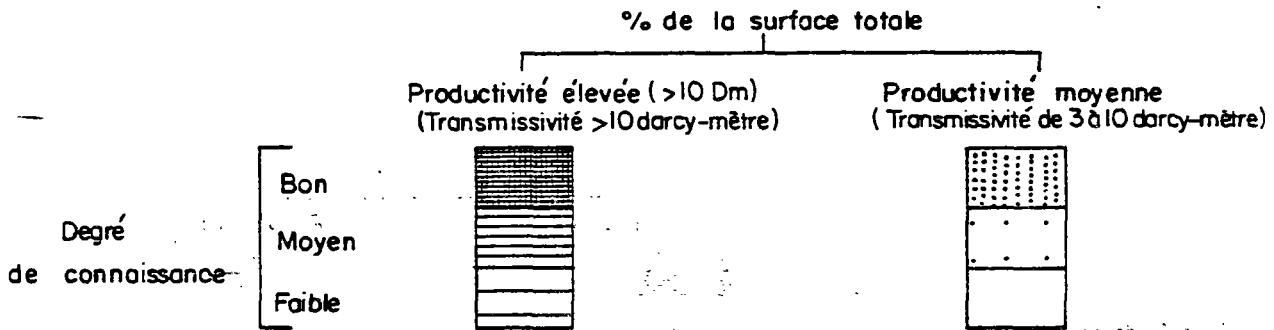
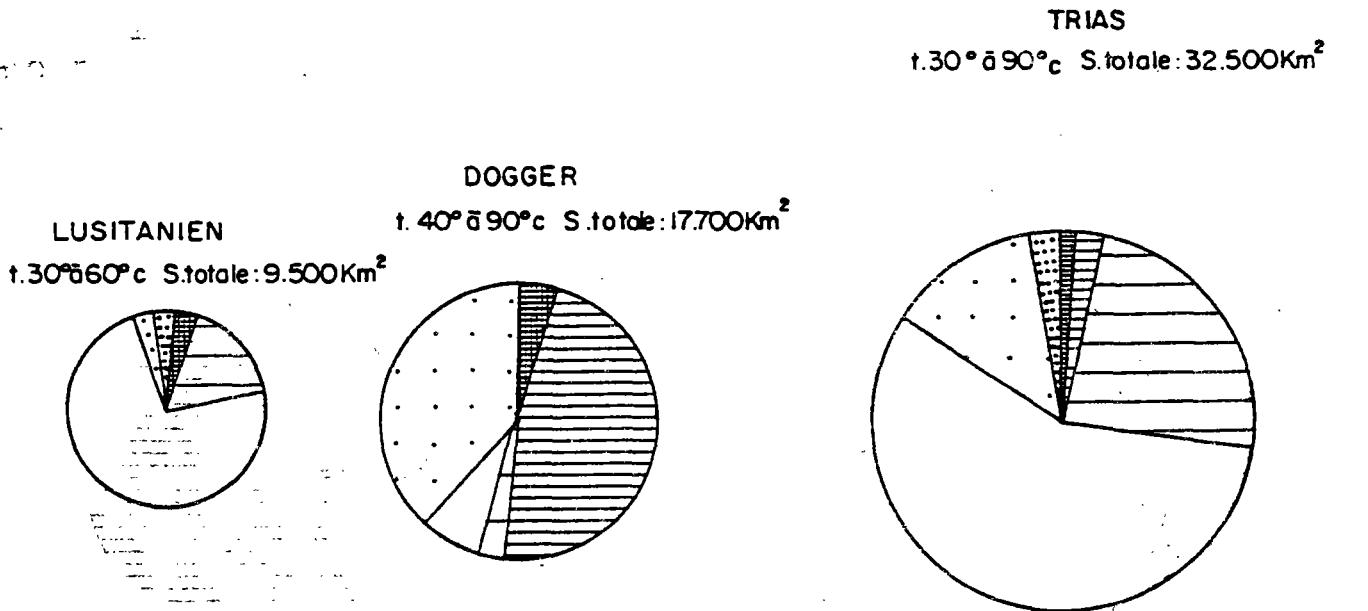


Figure 6

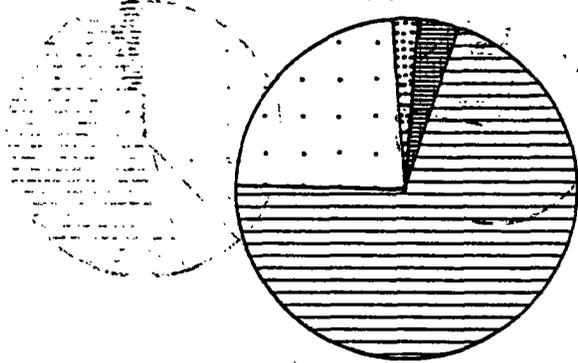
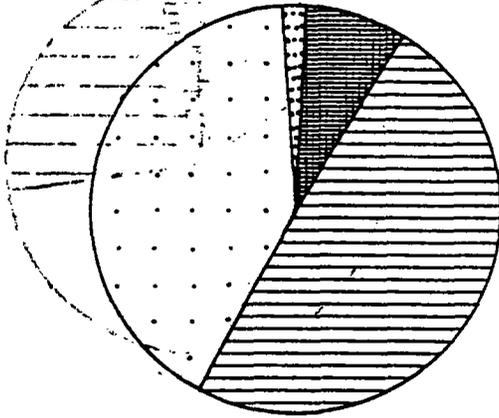
PRINCIPAUX RÉSERVOIRS EXPLOITÉS EN GÉOTHERMIE
BASSIN AQUITAIN

EOCENE

T. 20° à 55°c S. totale: 38600Km²

CRETACE SUPERIEUR

T. 30° à 60°c S. totale: 27100Km²



% de la surface totale

Productivité élevée
> 150 m³/h

Productivité moyenne
de 50 à 100 m³/h

Degré de connaissance

Bon

Moyen

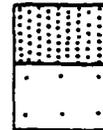
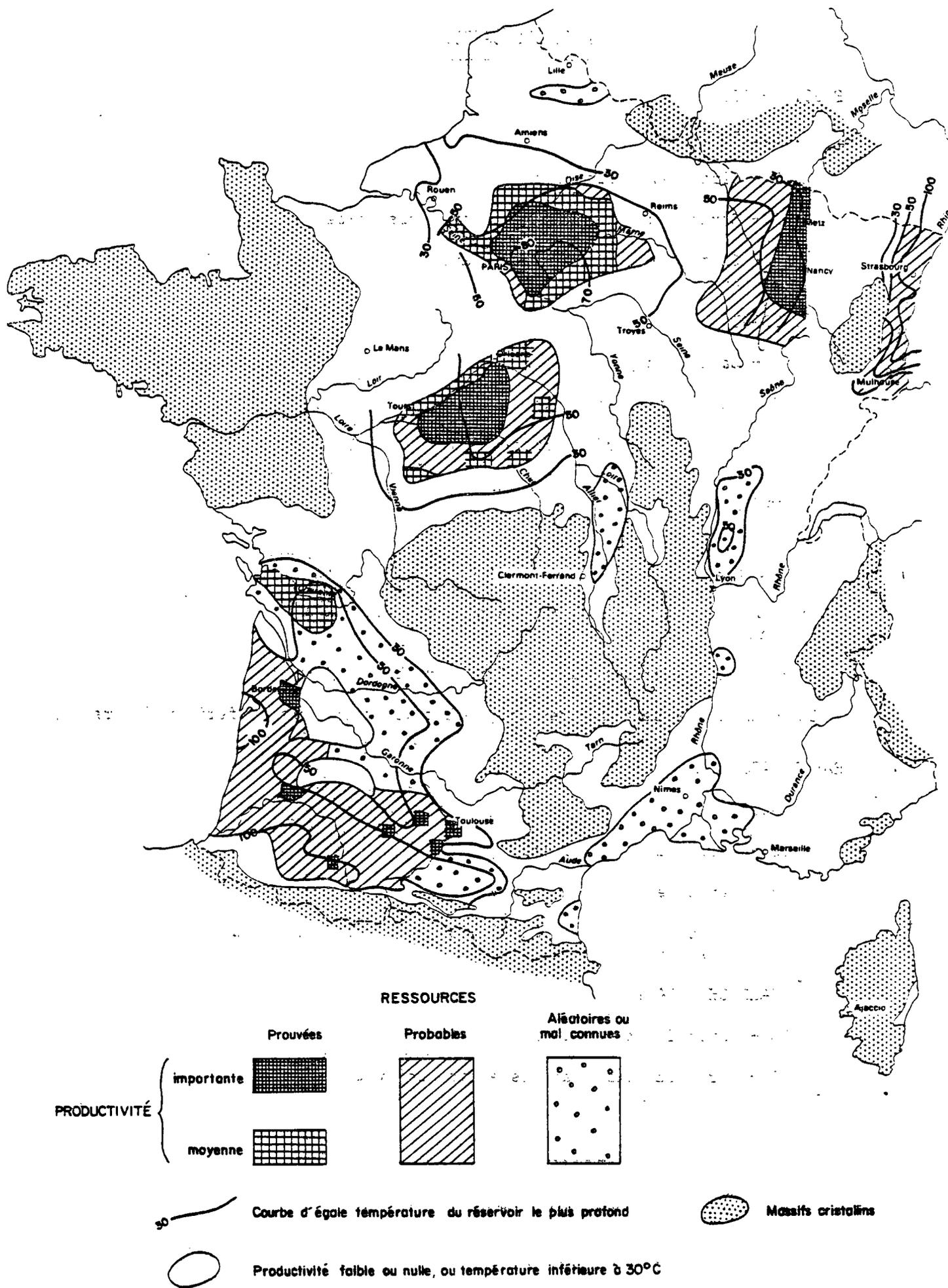


Figure 7

RESSOURCES GÉOTHERMIQUES FRANÇAISES



LISTE DES CARTES

BASSIN PARISIEN

LUSITANIEN

- 1 - Carte des profondeurs
- 2 - Carte des températures et transmissivités
- 3 - Carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource

DOGGER

- 4 - Carte des profondeurs
- 5 - Carte des températures et transmissivités
- 6 - Carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource

TRIAS

- 7 - Carte des profondeurs du Trias
- 8 - Carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource
- 9 - Carte des profondeurs du Trias inférieur (Lorraine)
- 10 - Carte des températures et productivités du Trias inférieur (Lorraine)

BASSIN AQUITAIN

EOCENE

- 11 - Carte des profondeurs
- 12 - Carte des transmissivités
- 13 - Carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource

PALEOCENE DANIEN

- 14 - Carte des profondeurs
- 15 - Carte des températures et productivités

. CRETACE SUPERIEUR (CENOMANIEN A TURONIEN)

16 - Carte des profondeurs

17 - Carte des productivités

18 - Carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource (productivité - température)

. CRETACE INFERIEUR

19 - Carte des profondeurs - carte des températures

20 - Carte des caractéristiques du réservoir

. JURASSIQUE SUPERIEUR ET MOYEN

21 - Carte des profondeurs (Dolomie de Mano)

22 - Carte des températures (Dolomie de Mano)

23 - Carte des productivités (Dolomie de Mano)

24 - Carte des profondeurs du Dogger (Jurassique moyen)

25 - Carte des températures et productivités du Dogger

. LIAS MOYEN

26 - Carte des profondeurs

27 - Carte des températures

. LIAS INFERIEUR - TRIAS

28 - Carte des profondeurs

29 - Carte des températures

ALSACE

. MALM (Rauracien)

30 - Carte des profondeurs

31 - Carte des températures

. DOGGER (grande oolithe)

32 - Carte des profondeurs

33 - Carte des températures

34 - Carte du degré de connaissance et de la qualité de la ressource

. MUSCHELKALK

35 - Carte des profondeurs

36 - Carte des températures

. BUNTSANDSTEIN

37 - Carte des profondeurs

38 - Carte des températures

NORD-PAS-DE-CALAIS

39 - Aquifère du calcaire carbonifère

ALLIER

40 - Aquifère du Stampien

FRANCHE COMTE

41 - Carte des profondeurs du Muschelkalk supérieur

42 - Carte des températures du Muschelkalk supérieur

43 - Carte des profondeurs du Buntsandstein

44 - Carte des températures du Buntsandstein

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- - - - -

BASSIN PARISIEN

- . Potentiel géothermique du Bassin Parisien - DGRST/BRGM/Elf Aquitaine - Ed. BRGM 1976.
- . Ressources géothermiques à Paris - GEOCHALEUR/BRGM/BETURE en cours.
- . Ressources géothermiques en Val d'Oise - GEOCHALEUR/BRGM Ed. BRGM - Réf. 82 SGN 017 GTH - 1982.
- . Ressources géothermiques dans le département de l'Essonne - GEOCHALEUR/BRGM - Ed. BRGM - Réf. 81 SGN 557 GTH - 1981.
- . Ressources géothermiques en Seine-et-Marne - GEOCHALEUR/BRGM/SECOTEB Ed. BRGM - Réf. 80 SGN 640 GTH - 1980.
- . Inventaire des possibilités géothermiques en Yvelines - GEOCHALEUR/GEOTHERMA - 1981.
- . Possibilités d'utilisation de la géothermie dans l'habitat existant dans l'Est Parisien - BRGM/BETURE - Réf. 78 SGN 067 GTH.
- . Inventaire géothermique en Champagne-Ardenne - GEOCHALEUR/BRGM/TETA pour la DII - Ed. GEOCHALEUR - 1980.
- . Etude sur les possibilités de géothermie en région Centre - BRGM/OET pour la DII Centre - Ed. BRGM - Réf. 79 SGN 365 GTH - 1979.
- . Etude hydrogéologique de la nappe aquifère des grès infratriasiques dans le Nord-Est de la France - SGAL - Réf. 72 SGN 047 SGAL - 1972.
- . La Lorraine énergétique - BRGM - Réf. SGR/LOR 82/15 - 1982.
- . Le réservoir des grès du Permo-Trias en Lorraine - utilisation actuelle et perspectives de valorisation - BRGM - Réf. SGR/LOR 80/122 - 1980.
- . Nappe des grès du Permo-Trias en Lorraine - Essai d'évaluation des prélèvements par systèmes aquifères - BRGM - Réf. 80 SGN 431 LOR - 1980.
- . Etude des possibilités géothermiques des grès du Trias inférieur dans le département de la Meuse - BRGM - Réf. 76 SGN 094 LOR - 1976.
- . Inventaire des possibilités de réalisations géothermiques dans le département de la Meuse - BRGM - Réf. 81 SGN 408 LOR.
- . Inventaire géothermique de la région Picardie - Ed. GEOTHERMA - 1981.

BASSIN AQUITAIN

- . Potentiel géothermique du Bassin Aquitain - DGRST/BRGM/ELF Aquitaine - Ed. BRGM 1977.
- . Plan Sud-Ouest - Recherche en région Midi-Pyrénées de sites favorables à la réalisation d'opérations géothermiques. Ed. BRGM - 81 SGN 736 MPY - 1981.

ALSACE/FOSSE RHENAN

- . Potentiel géothermique du fossé rhénan - CCE/DGRST/BRGM/Geologisches Landesamt Bade Wurtemberg - Ed. BRGM - 1979.
- . Inventaire des possibilités géothermiques de la région de Strasbourg entre Gerstheim et Gamsheim - BRGM - Réf. 74 SGN 265 GTH - 1974.

AUTRES REGIONS

LANGUEDOC ROUSSILLON

- . Possibilités offertes par la géothermie dans la vallée de l'Hérault - BRGM - Réf. 80 LRO 355 PR - 1980.
- . Inventaire des possibilités géothermiques des formations sédimentaires du Languedoc Roussillon - BRGM - 19875.
- . Synthèse géothermique des régions littorales méditerranéennes françaises de Perpignan à Marseille - Ed. GEOTHERMA - 1982.

ALLIER

- . Inventaire des ressources géothermiques - département de l'Allier - GEOCHALEUR/BRGM/TETA pour la DDE Allier - Ed. GEOCHALEUR - 1980.

POITOU-CHARENTE

- . Aperçu du potentiel en ressources géothermiques de la région Poitou-Charente - BRGM - Réf. 79 SGN 615 POC - 1979.

FRANCHE-COMTE

- . Possibilité géothermique de la Franche-Comté - Bilan des connaissances sur les réservoirs souterrains profonds - BRGM - Réf. 81 SGN 444 FC - 1981.

CORSE

- . Etude préliminaire des ressources géothermiques de la Corse - BRGM - Réf. 80 SGN 784 GTH.

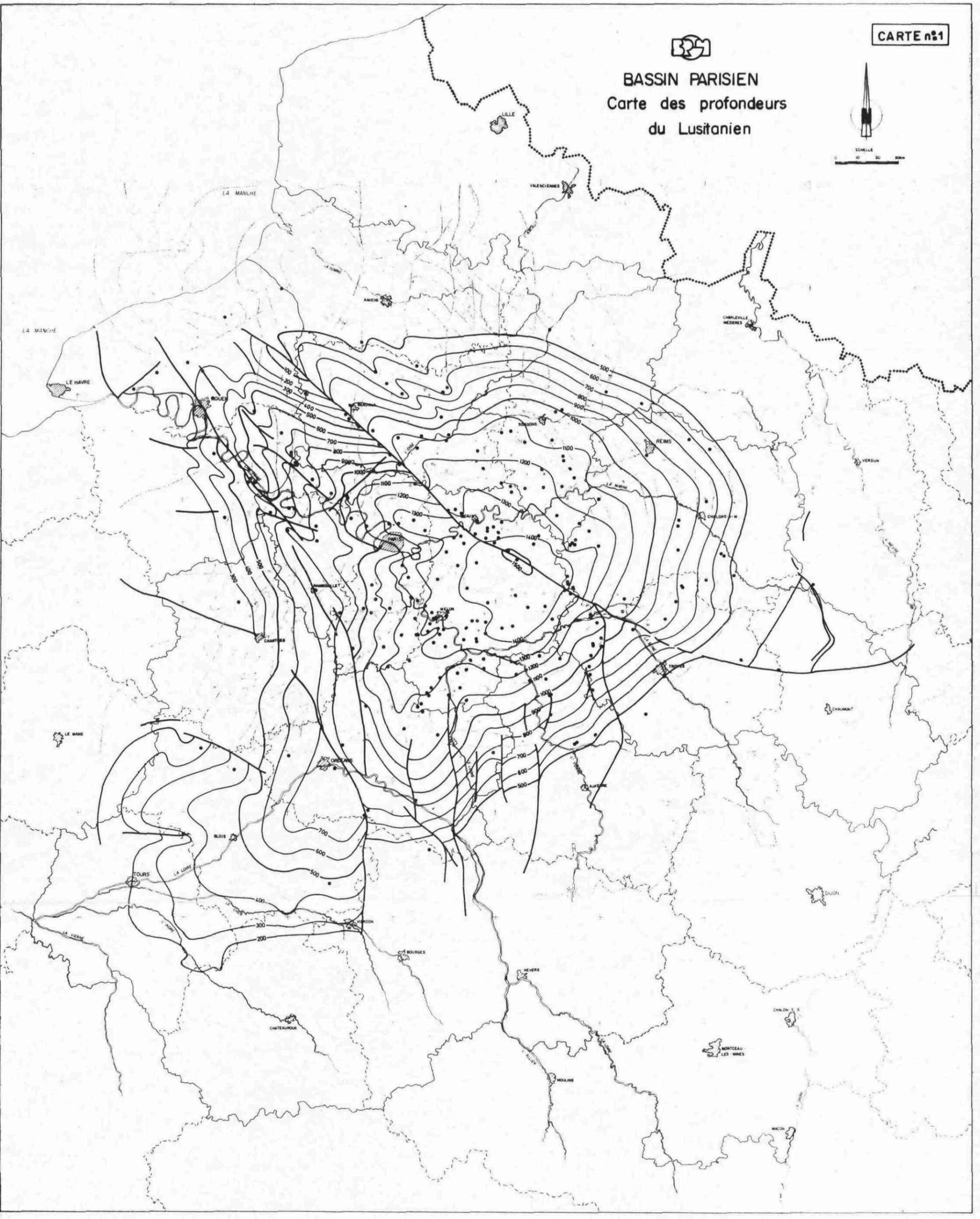
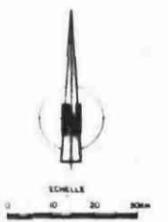
NORD/PAS-DE-CALAIS

- . Etude des possibilités d'exploitation d'eau chaude dans le Hainaut - en cours.
- . Acquisition et rassemblement des données géothermiques disponibles et nouvelles dans la zone franco-belge de Saint Ghislain à Saint-Amand-les-Eaux (Nord) CCE - BRGM - Réf. 80 SGN 406 NPC/MGA (GTH).



BASSIN PARISIEN

Carte des profondeurs du Lusitanien



100 Courbe d'égale profondeur par rapport
au niveau de la mer

— Accident tectonique

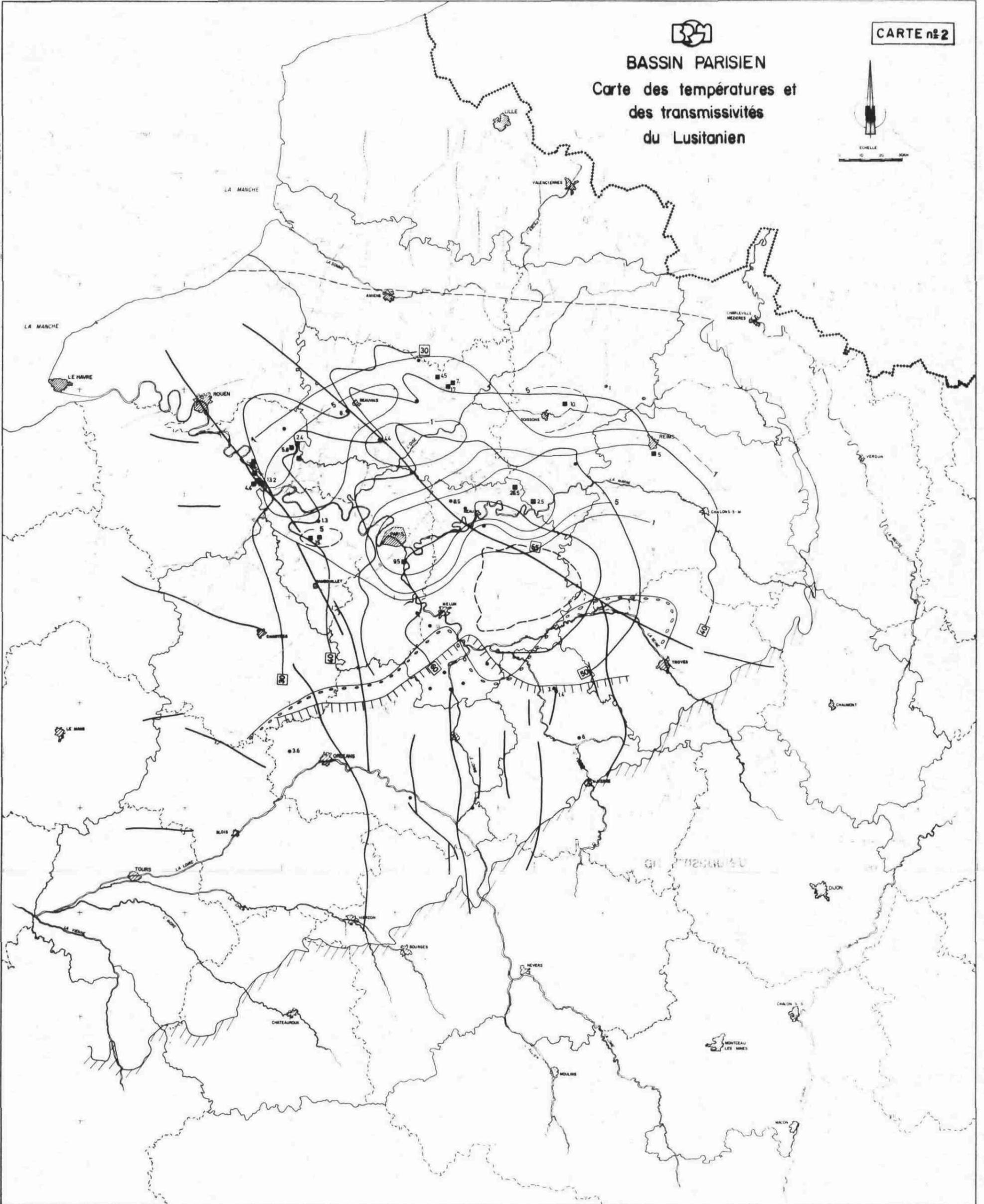
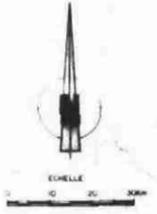
• Forage



CARTE n°2

BASSIN PARISIEN

Carte des températures et des transmissivités du Lusitanien



- Limite d'extension ou affleurement du Lusitanien
- Limite d'extension du réservoir supérieur
- Zone où le Lusitanien est crayeux

- Accident tectonique
- Courbe d'égale température (30°C)
- Courbe d'égale transmissivité en darcy-mètre
- Valeur de transmissivité en darcy-mètre

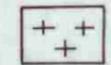
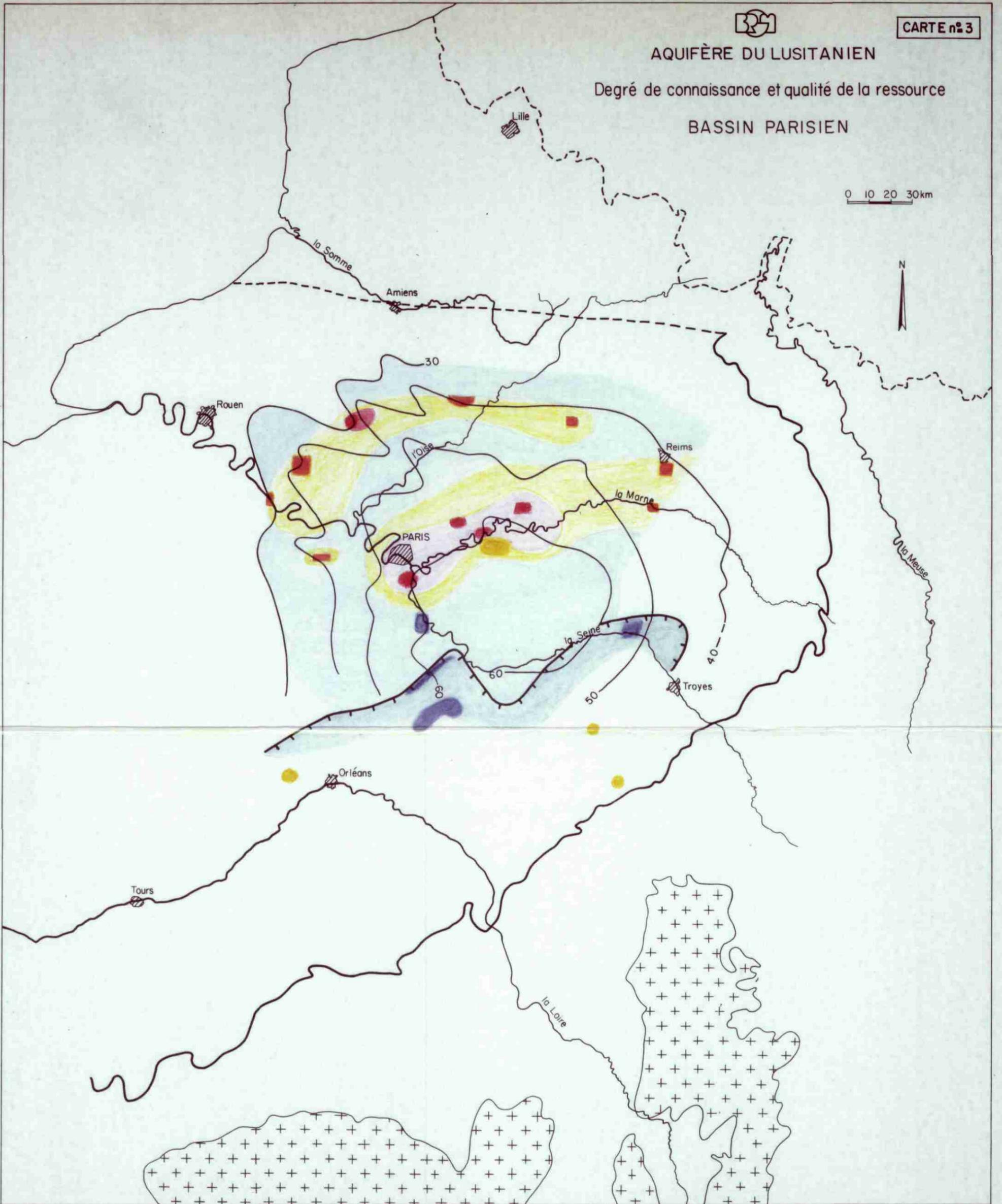


AQUIFÈRE DU LUSITANIEN

Degré de connaissance et qualité de la ressource

BASSIN PARISIEN

0 10 20 30km



Affleurement du Paléozoïque



Limite d'extension de la formation



Limite d'affleurement



Limite de la zone crayeuse



Courbe d'égal température

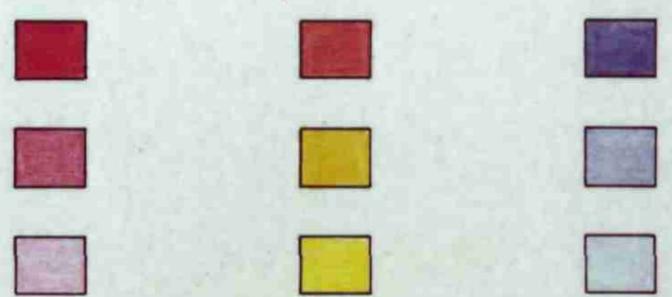
QUALITÉ DE LA RESSOURCE

$T \geq 10 \text{ dm}$

$3 \geq T > 10 \text{ dm}$

$T < 3 \text{ dm}$

Bon
 Moyen
 Faible

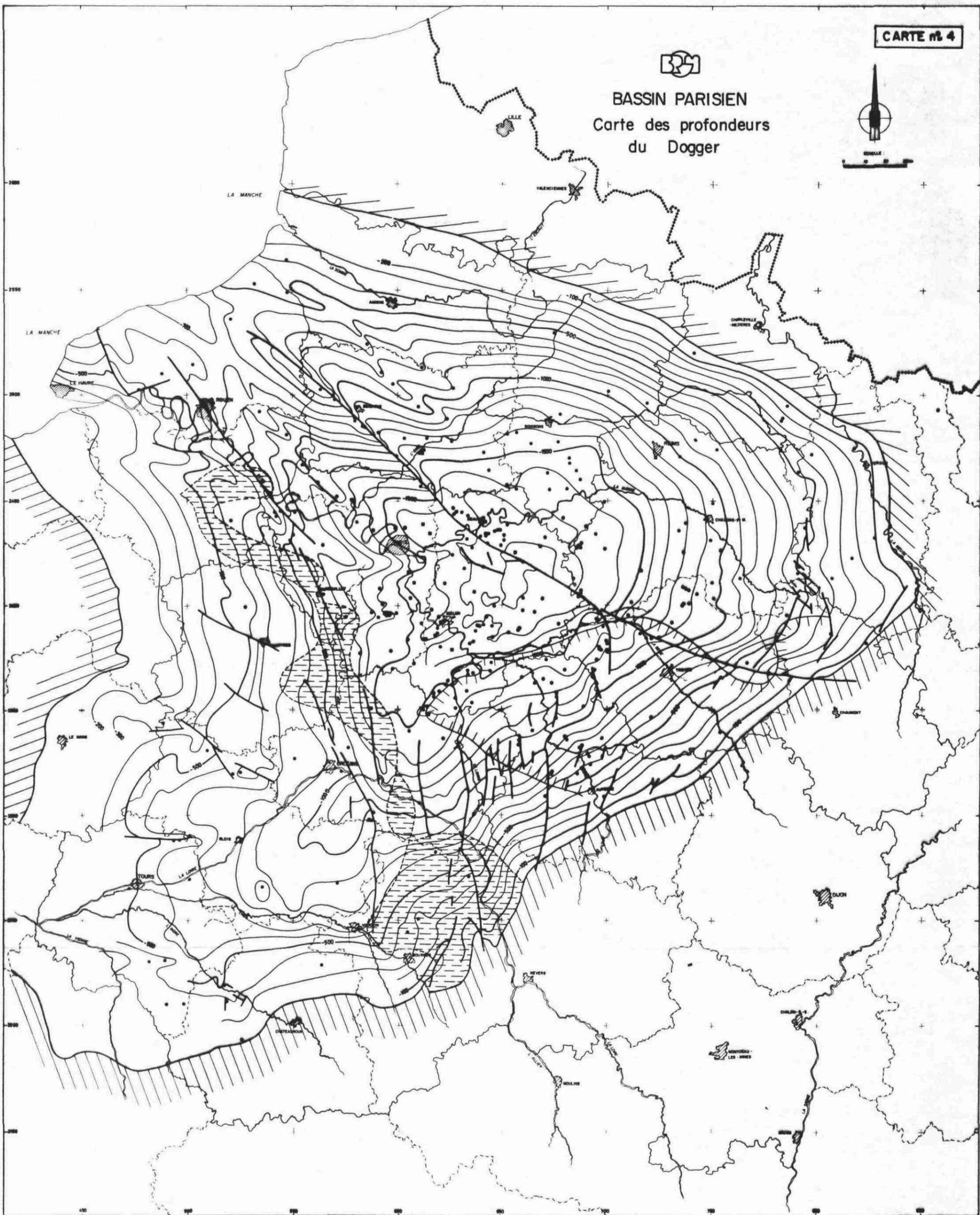


DEGRÉ DE CONNAISSANCE

T. transmissivité en darcy-mètre



BASSIN PARISIEN
Carte des profondeurs
du Dogger



— 200 Courbe d'égale profondeur par rapport au niveau de la mer.

— Accident tectonique

• Forage

◻ Forage géothermique

 Zone où le Dogger est marneux

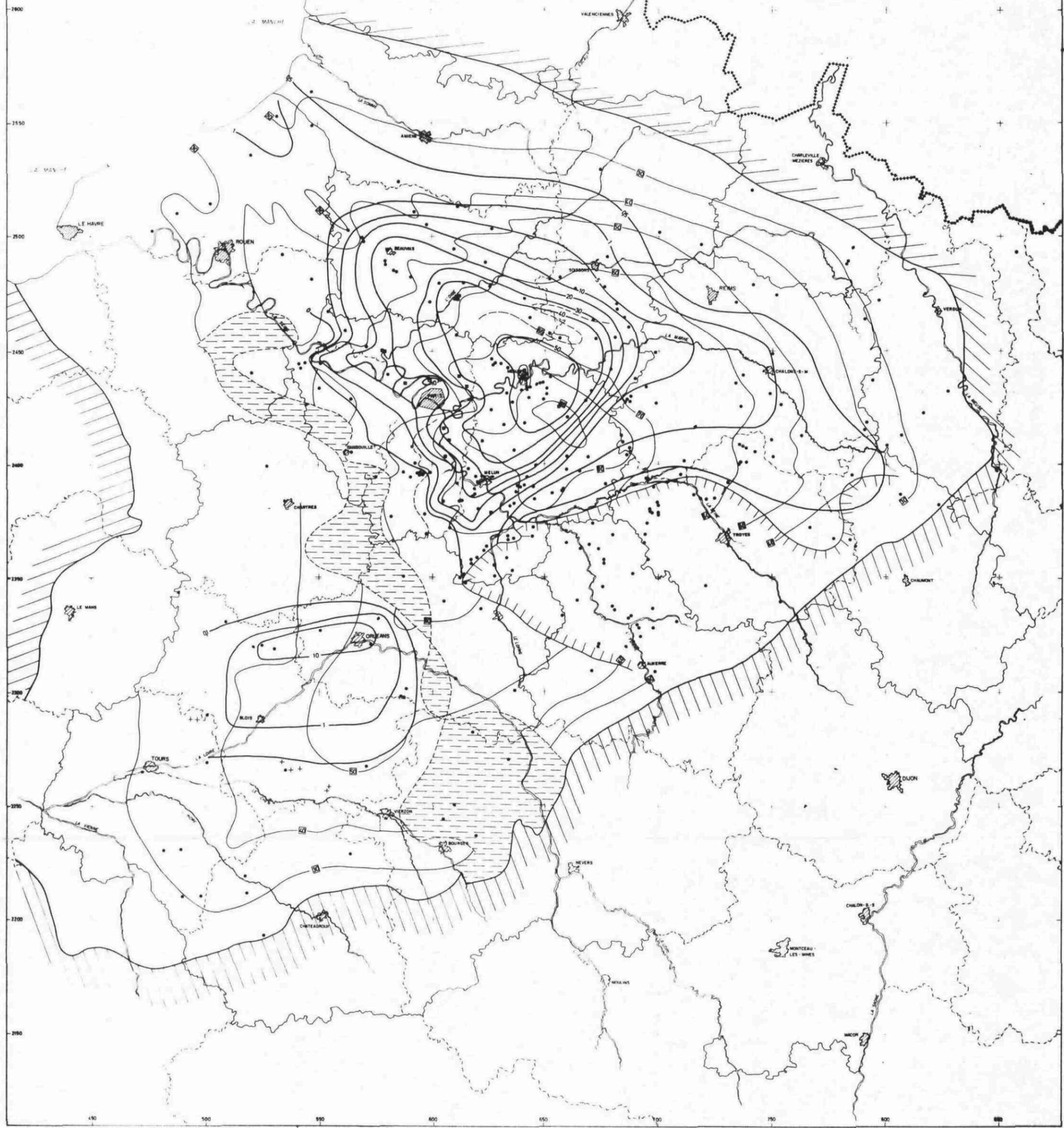
 Zone où le Dogger est crayeux

 Limite d'extension du Dogger



BASSIN PARISIEN

Carte de transmissivité et température du Dogger



— 10 — Courbe d'égale transmissivité en darcy-mètre

— 20 — Courbe d'égale température au toit du réservoir

— Limite d'extension du Dogger

 Zone où le Dogger est marneux

 Zone où le Dogger est crayeux

• Forage pétrolier

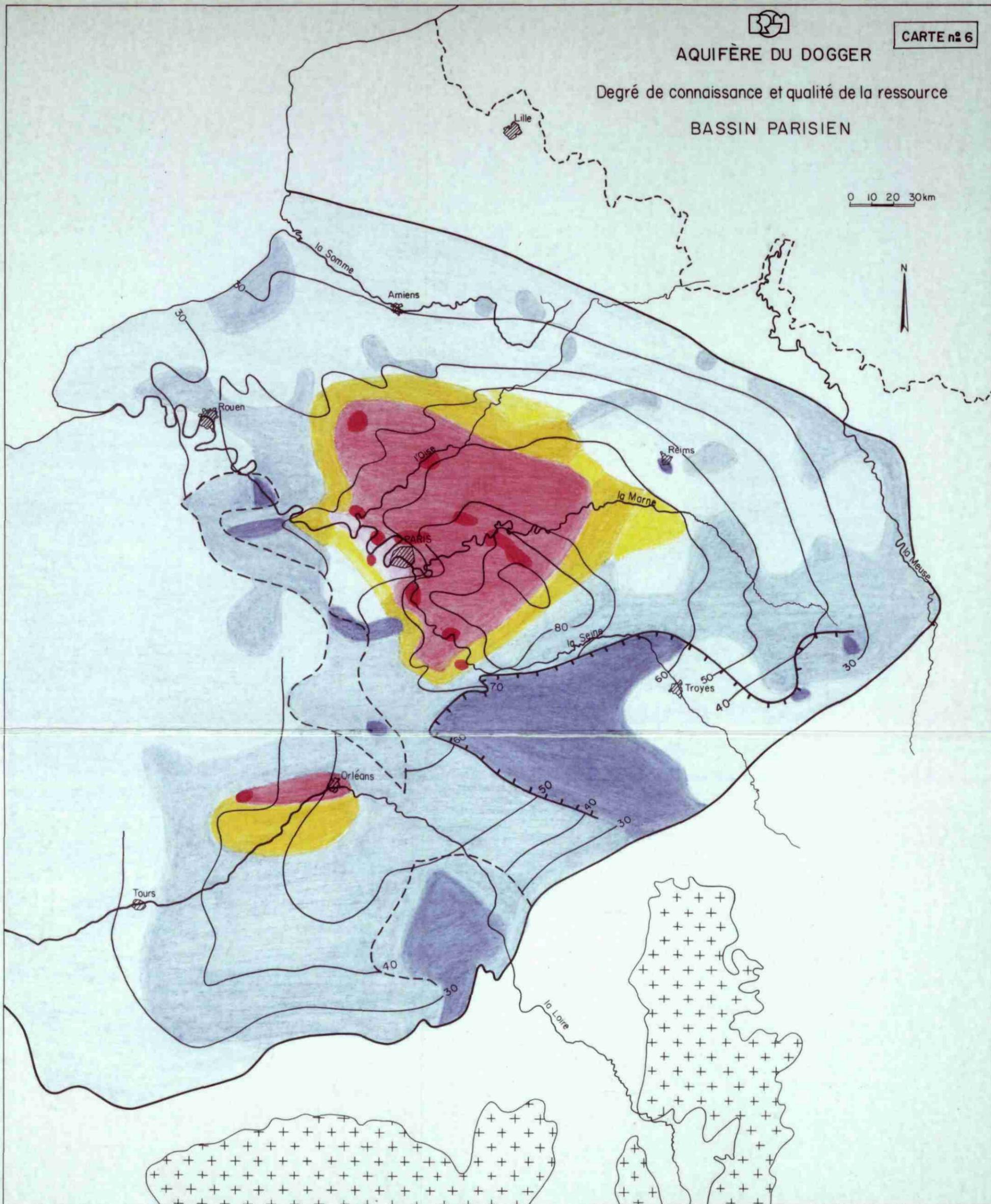
□ Forage géothermique



AQUIFÈRE DU DOGGER

Degré de connaissance et qualité de la ressource BASSIN PARISIEN

0 10 20 30km



- Affleurement du Paléozoïque
- Limite d'affleurement ou d'extension du Dogger
- Zone où le Dogger est crayeux
- Zone où le Dogger est marneux
- Courbe d'égalité température

QUALITÉ DE LA RESSOURCE

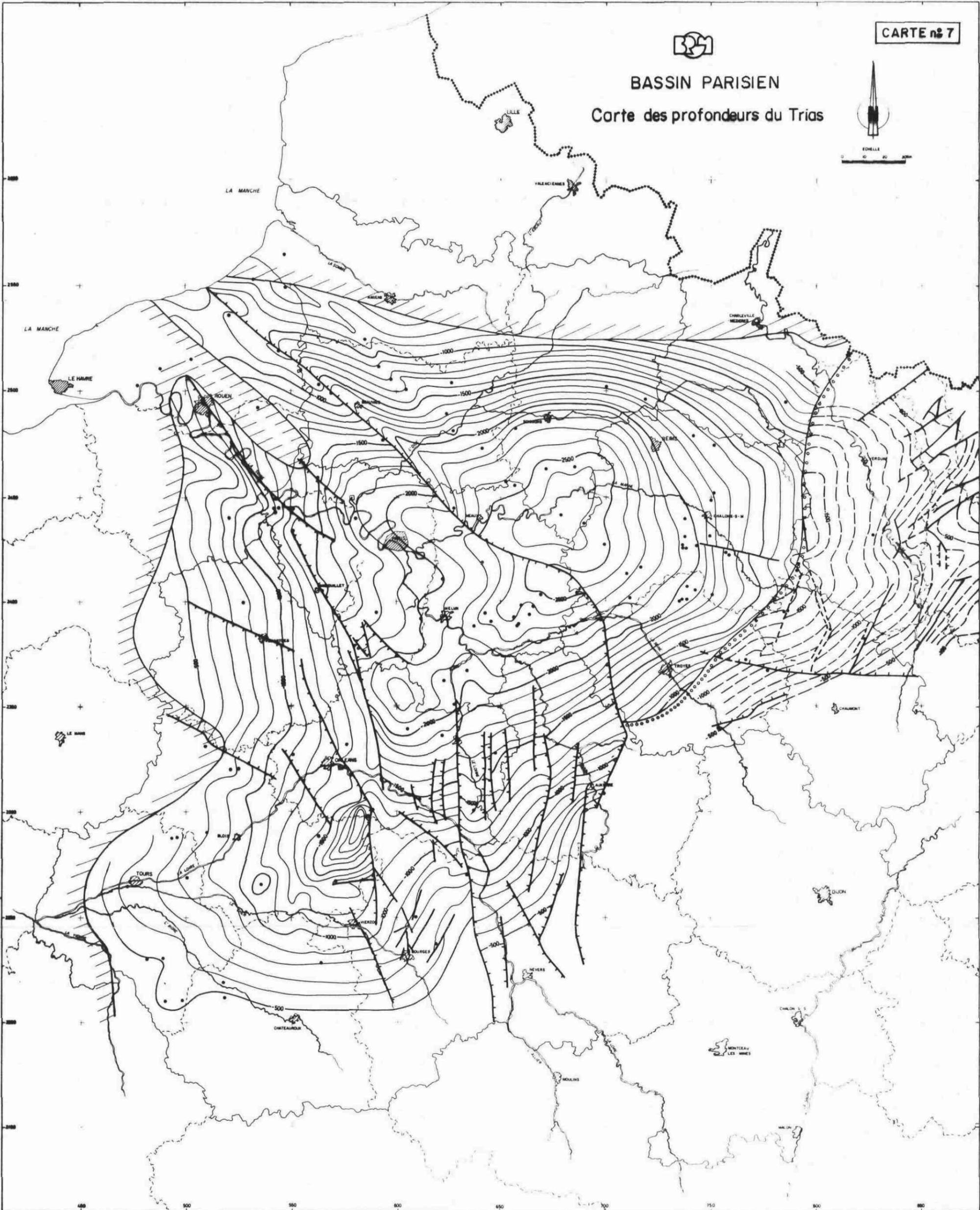
DEGRÉ DE CONNAISSANCE	T. transmissivité en darcy-mètre		
	$T \geq 10 \text{ dm}$	$3 \leq T < 10 \text{ dm}$	$T < 3 \text{ dm}$
Bon			
Moyen			
Faible			

T. transmissivité en darcy-mètre



BASSIN PARISIEN

Carte des profondeurs du Trias



—100— Courbe d'égale profondeur au toit du Trias
 - - -1000- - - Courbe d'égale profondeur au toit des grès du Trias inférieur (Lorraine)

 Limite d'extension des dépôts triasiques
 Limite d'extension des faciès détritiques du Trias inférieur de Lorraine
 Accident tectonique

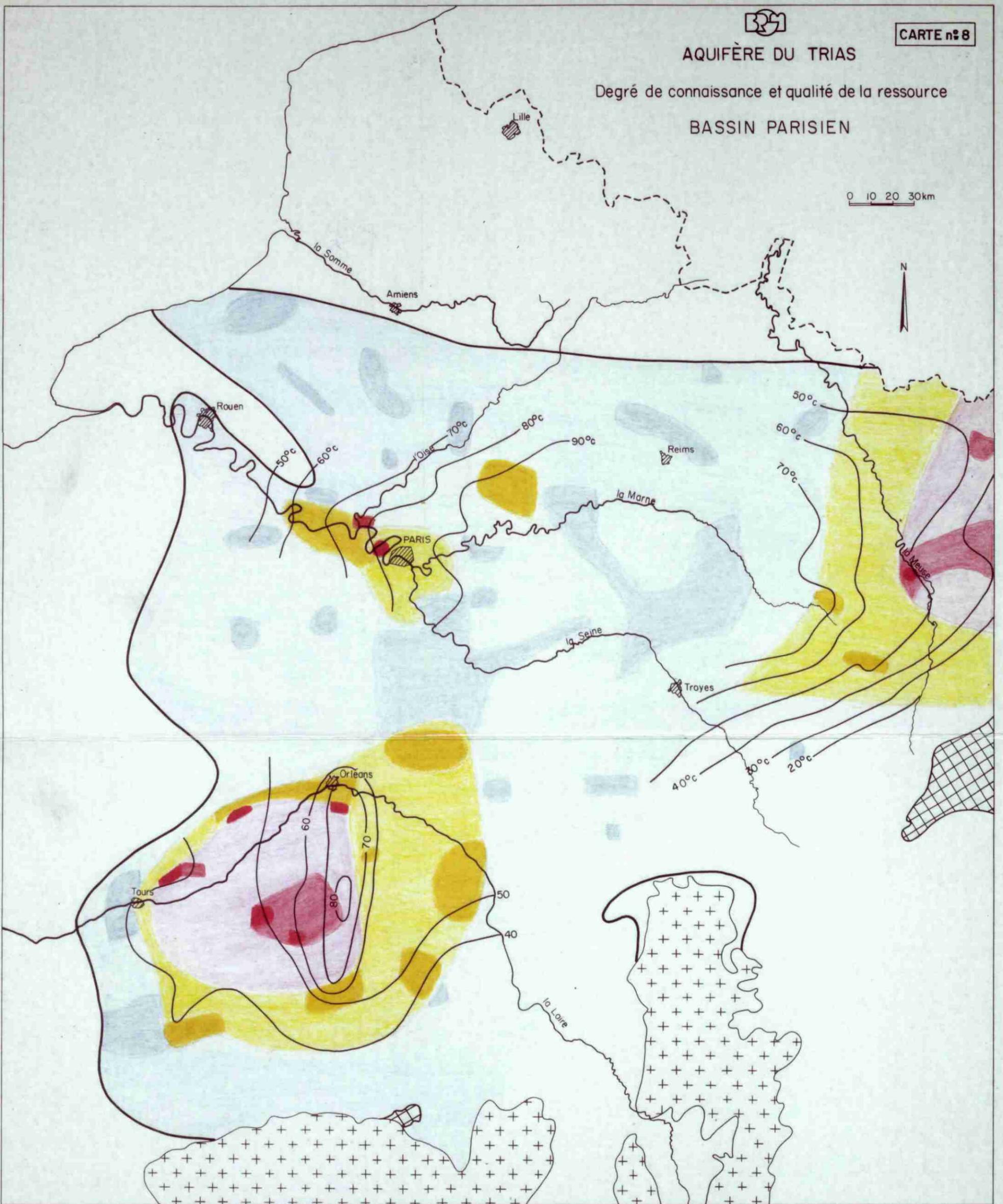


AQUIFÈRE DU TRIAS

Degré de connaissance et qualité de la ressource

BASSIN PARISIEN

0 10 20 30km



Affleurement du Paléozoïque



Affleurement du Trias



Limite d'extension du Trias



Courbe d'égale température

QUALITÉ DE LA RESSOURCE

$T \geq 10 \text{ dm}$

$3 \leq T < 10 \text{ dm}$

$T \geq 3 \text{ dm}$

Bon



Moyen

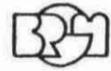


Faible



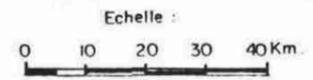
DEGRÉ DE CONNAISSANCE

T. transmissivité en darcy-mètre



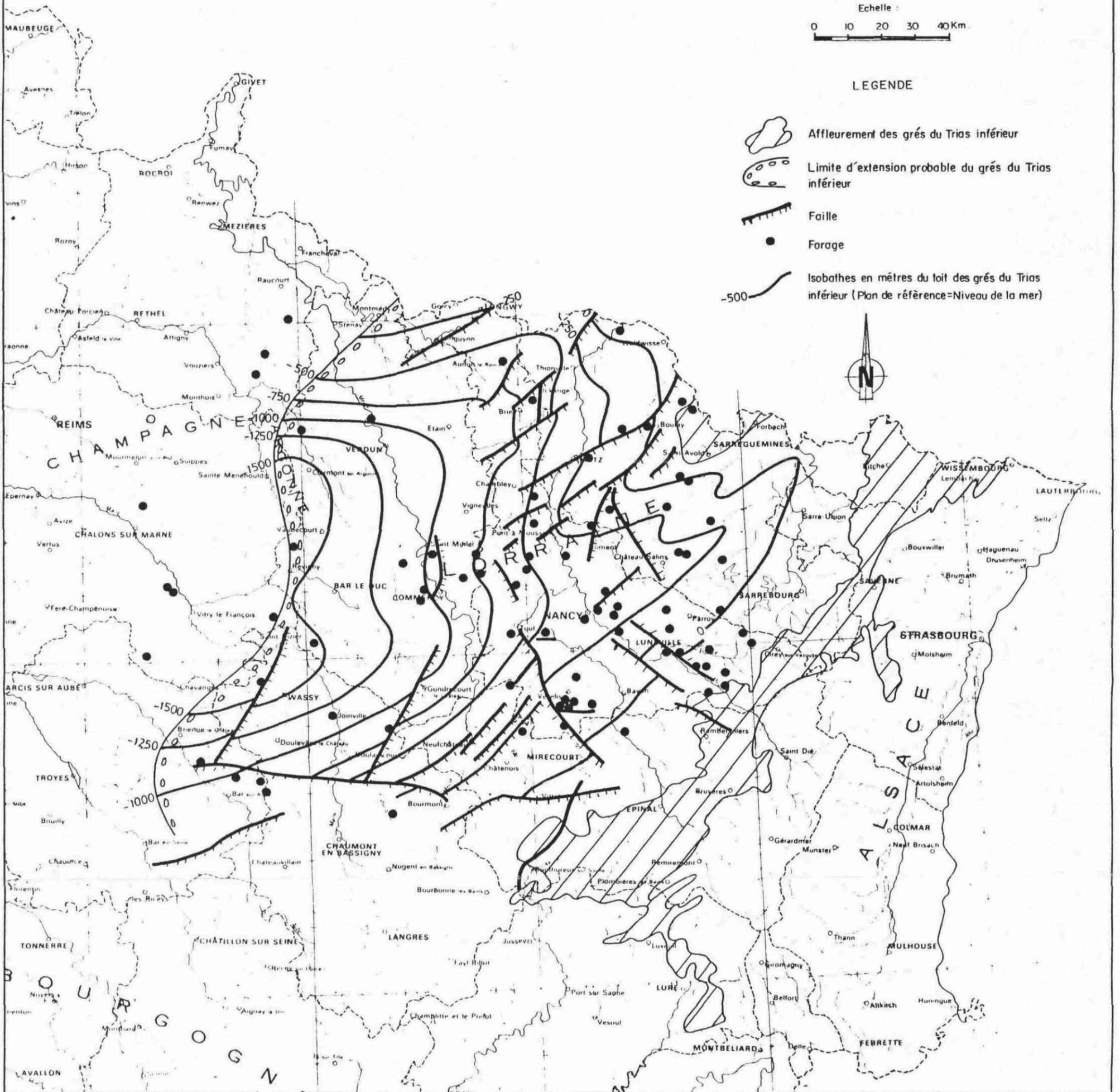
LA LORRAINE

CARTE DES PROFONDEURS DU TRIAS INFÉRIEUR



LEGENDE

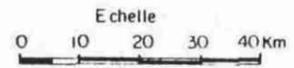
- Affleurement des grés du Trias inférieur
- Limite d'extension probable du grés du Trias inférieur
- Faille
- Forage
- Isobathes en mètres du toit des grés du Trias inférieur (Plan de référence=Niveau de la mer)



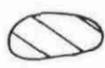


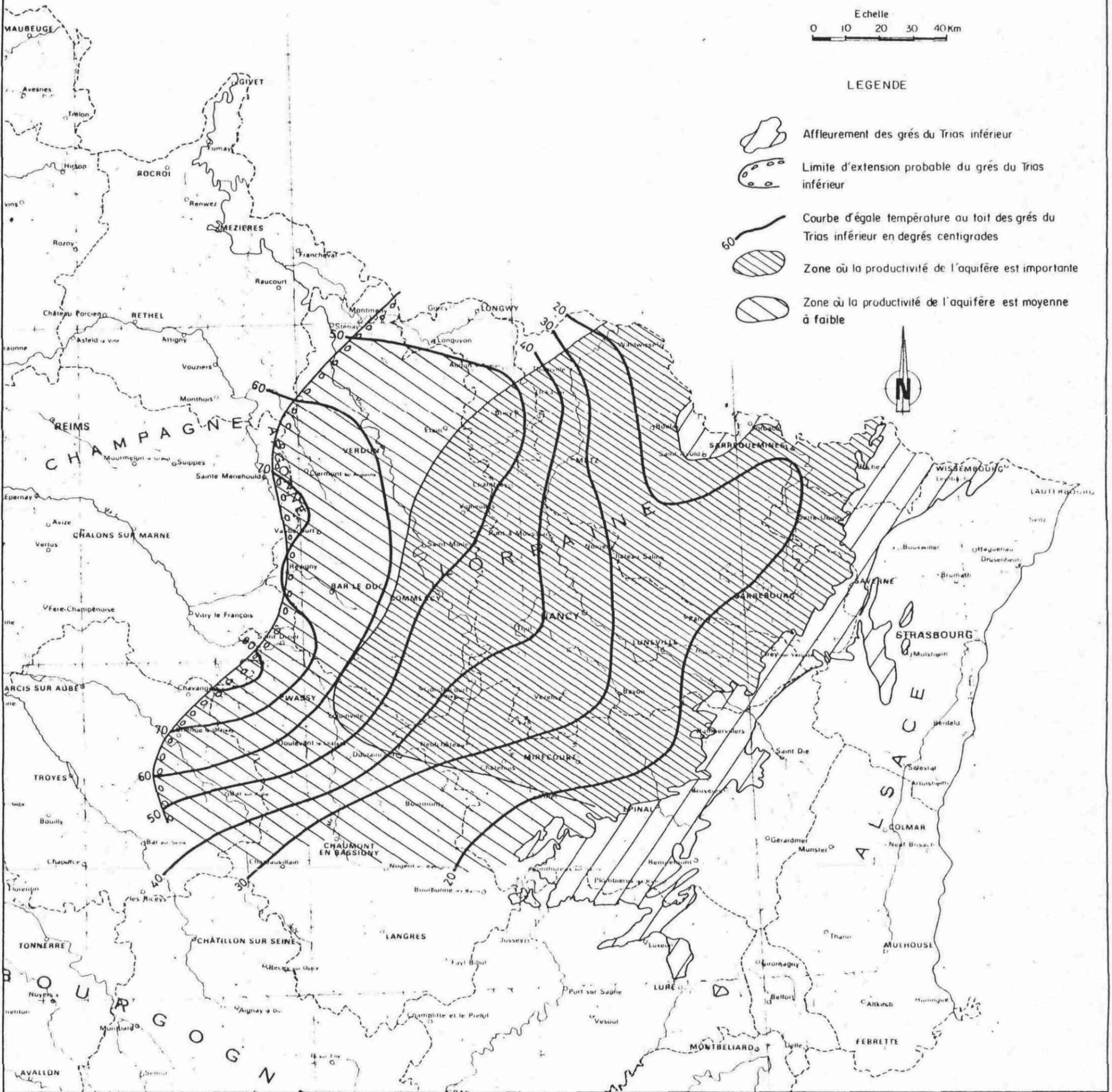
LA LORRAINE

CARTE DES TEMPERATURES ET PRODUCTIVITÉS DU TRIAS INFÉRIEUR



LEGENDE

-  Affleurement des grés du Trias inférieur
-  Limite d'extension probable du grés du Trias inférieur
-  Courbe d'égale température au toit des grés du Trias inférieur en degrés centigrades
-  Zone où la productivité de l'aquifère est importante
-  Zone où la productivité de l'aquifère est moyenne à faible



ÉOCÈNE PROFONDEUR BASSIN AQUITAIN

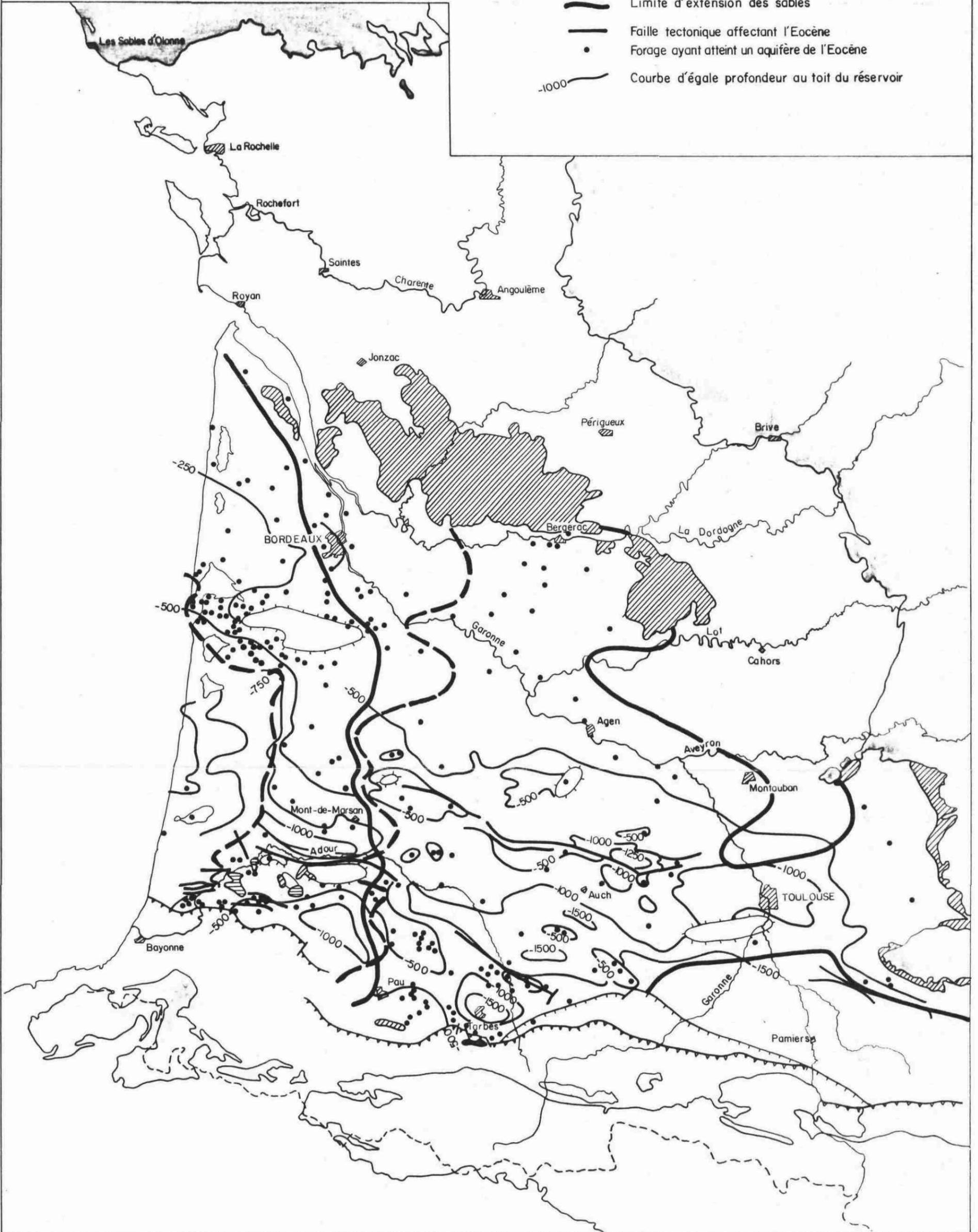


Echelle : 0 50km



LEGENDE

-  Affleurement des formations éocènes perméables (zone d'alimentation ou exutoire)
-  Lacune de l'Éocène
-  Trias intrusif pouvant provoquer la disparition totale ou partielle de l'Éocène
-  Limite d'extension des calcaires
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension des sables
-  Faille tectonique affectant l'Éocène
-  Forage ayant atteint un aquifère de l'Éocène
-  Courbe d'égale profondeur au toit du réservoir





0 50km



Affleurement Eocène



Affleurement des terrains anté-triasiques



Front "nord pyrénéen"



Front des "Petites Pyrénées"



Limite d'extension du Trias sous recouvrement

PRODUCTIVITÉ (Transmissivité)

$T \geq 10^{-3}$

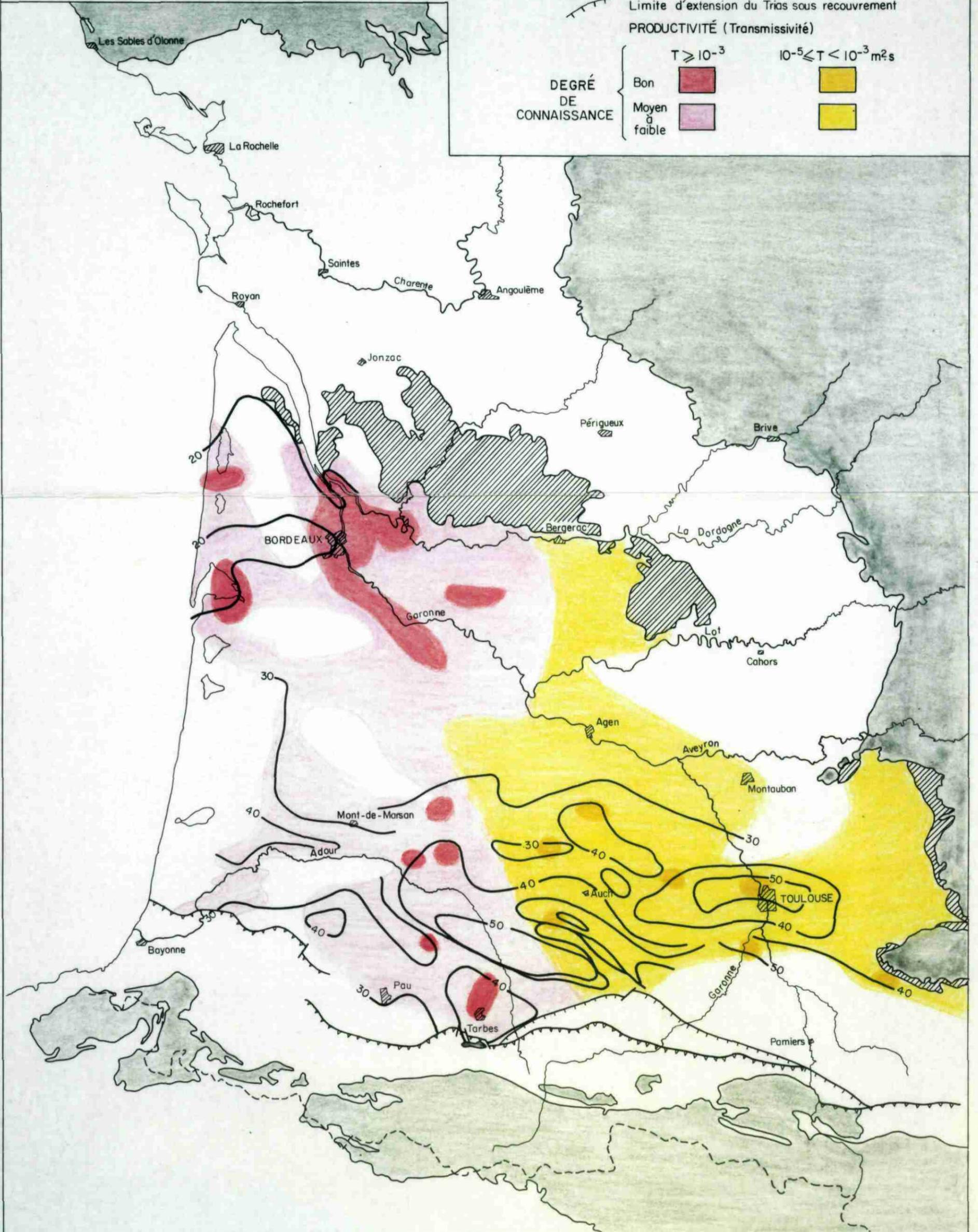
$10^{-5} \leq T < 10^{-3} m^2/s$

DEGRÉ DE CONNAISSANCE

Bon



Moyen à faible



PALÉOCÈNE - DANIEN

CARTE n° 14

PROFONDEUR

BASSIN AQUITAIN



Echelle :

0 50km



LEGENDE



Trias intrusif



Affleurement des terrains anté-triasiques



Front "nord pyrénéen"



Front des "Petites Pyrénées"



Limite d'extension des formations pouvant être aquifères



Forage ayant rencontré un niveau aquifère dans le Paléocène-Danien

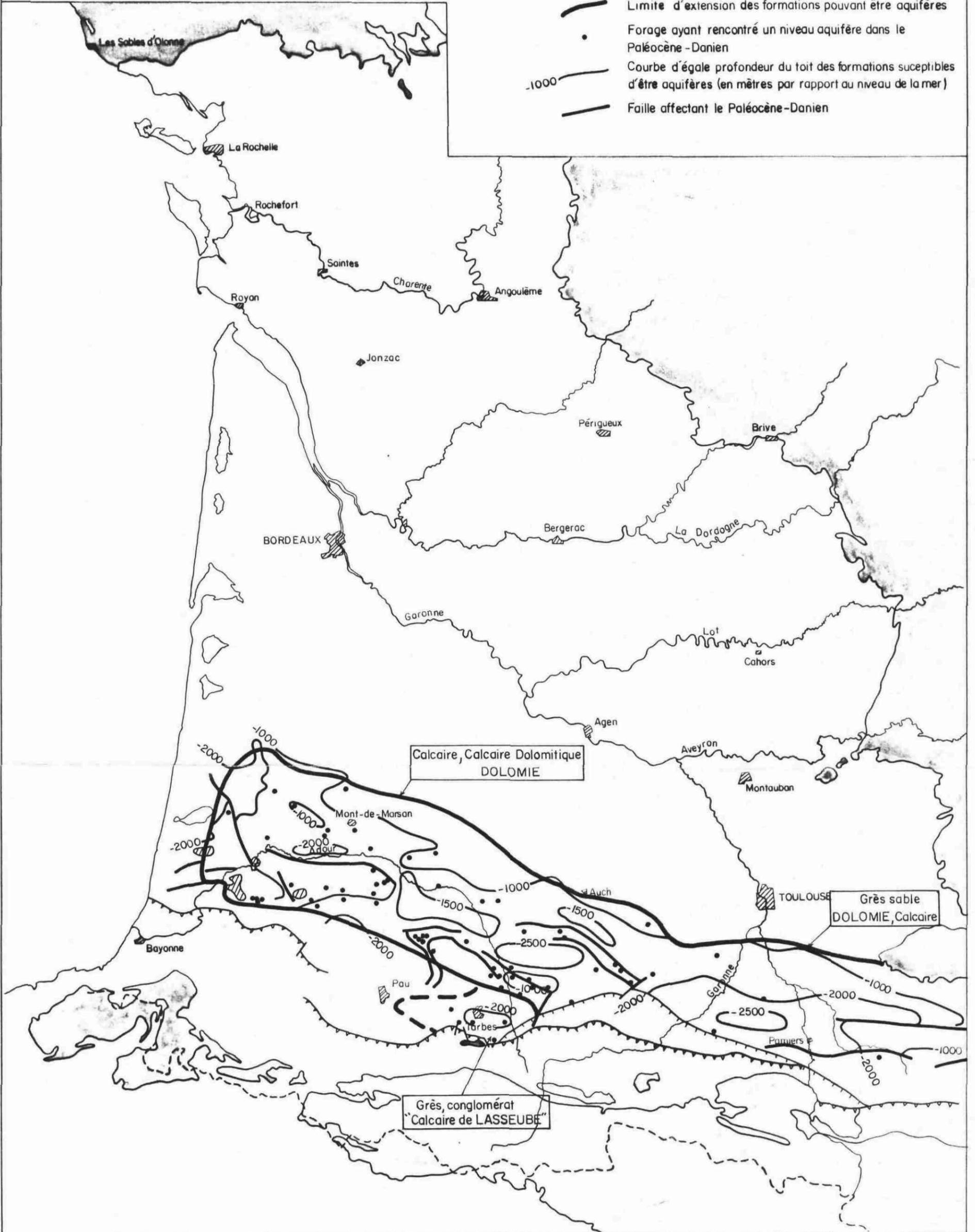
-1000



Courbe d'égale profondeur du toit des formations susceptibles d'être aquifères (en mètres par rapport au niveau de la mer)



Faille affectant le Paléocène-Danien



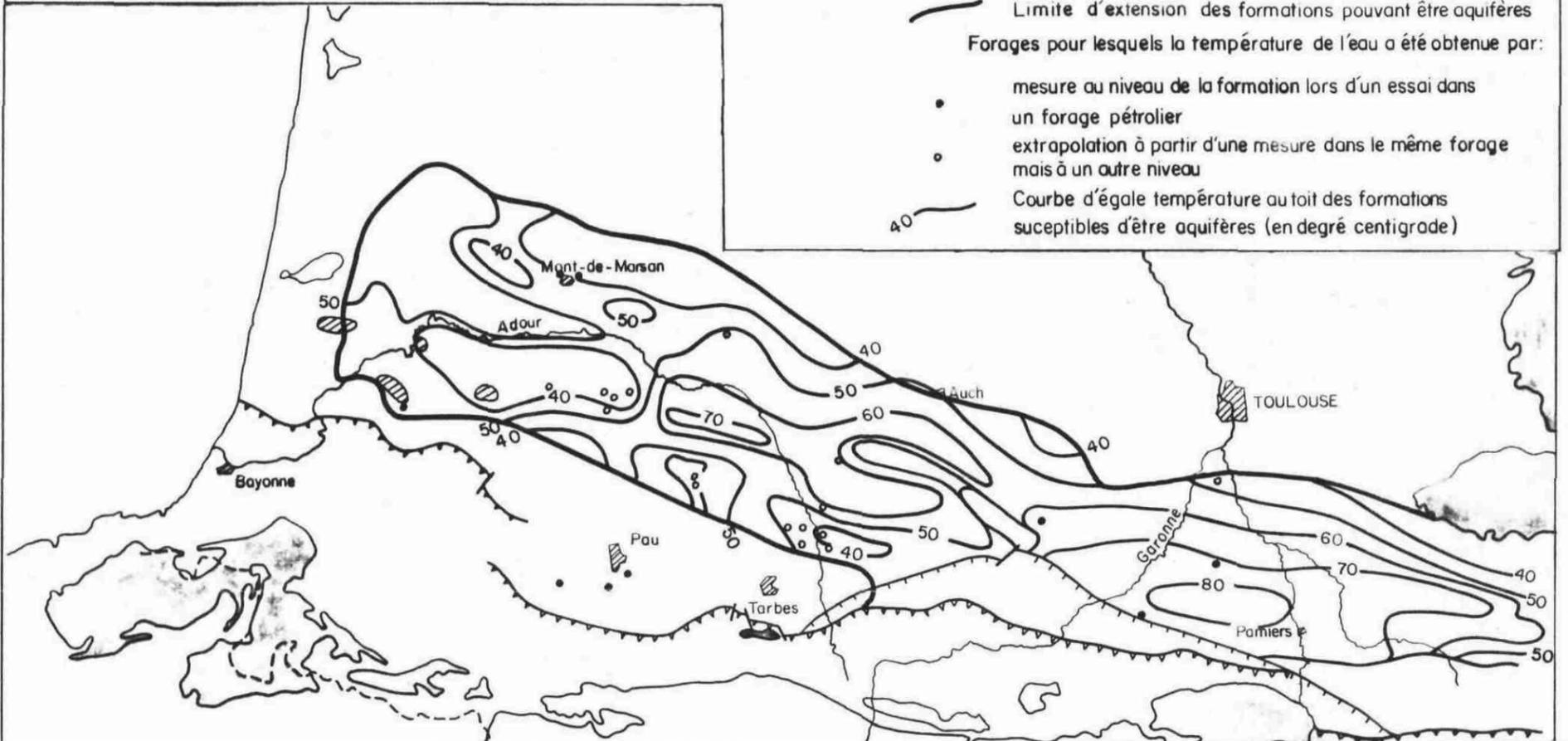


Echelle: 0 50km



LEGENDE

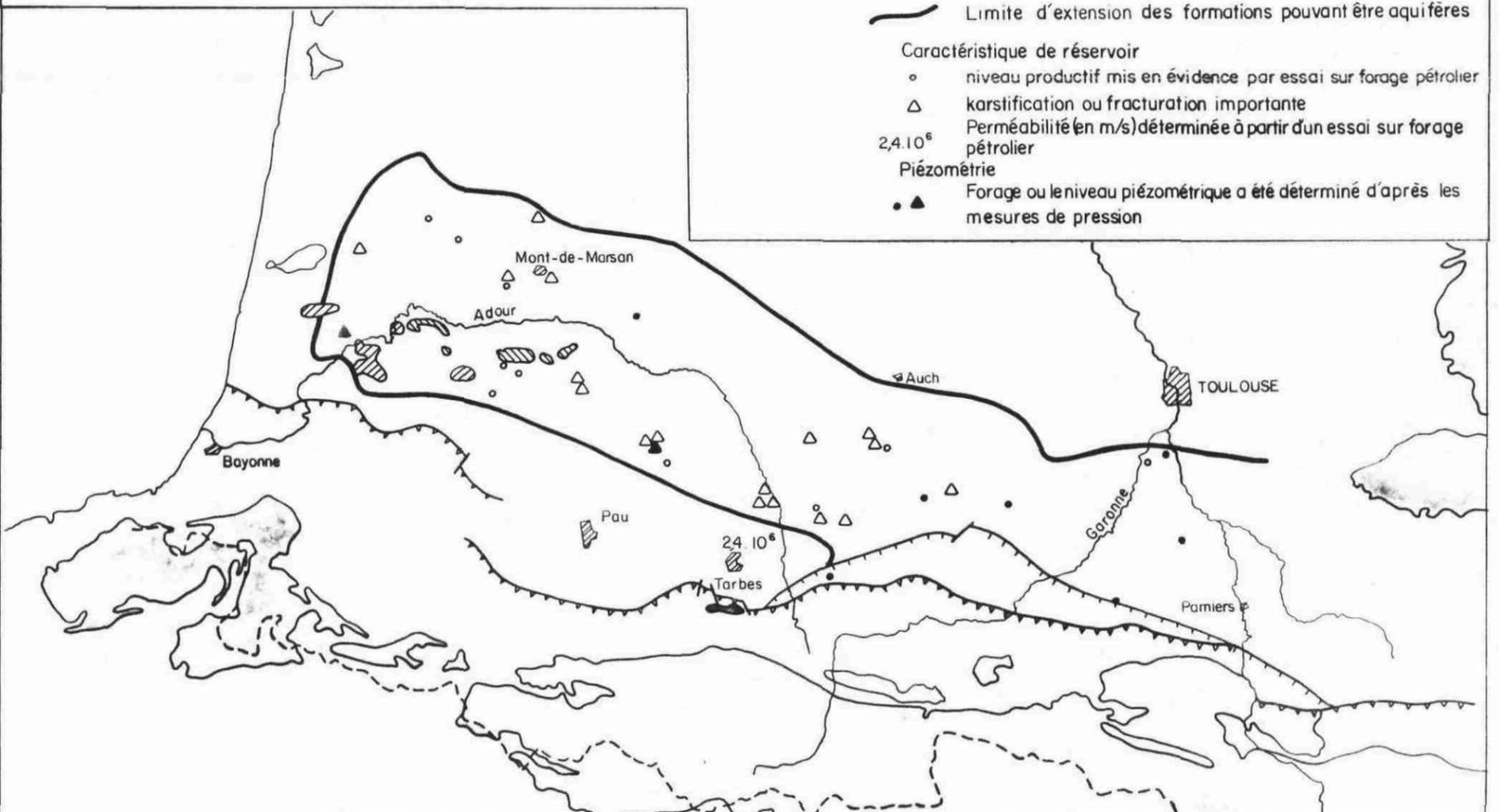
- Trias intrusif
 - Affleurement des terrains anté-triasiques
 - Front "nord pyrénéen"
 - Front des "Petites Pyrénées"
 - Limite d'extension des formations pouvant être aquifères
- Forages pour lesquels la température de l'eau a été obtenue par:
- mesure au niveau de la formation lors d'un essai dans un forage pétrolier
 - extrapolation à partir d'une mesure dans le même forage mais à un autre niveau
- Courbe d'égale température au toit des formations susceptibles d'être aquifères (en degré centigrade)



Echelle: 0 50km

LEGENDE

- Affleurement des terrains du Paléocène-Danien
 - Trias intrusif
 - Affleurement des terrains anté-triasiques
 - Front "nord pyrénéen"
 - Front des "Petites Pyrénées"
 - Limite d'extension des formations pouvant être aquifères
- Caractéristique de réservoir
- niveau productif mis en évidence par essai sur forage pétrolier
 - △ karstification ou fracturation importante
- Perméabilité (en m/s) déterminée à partir d'un essai sur forage pétrolier
- 2,4 · 10⁶
- Piézométrie
- ▲ Forage ou le niveau piézométrique a été déterminé d'après les mesures de pression



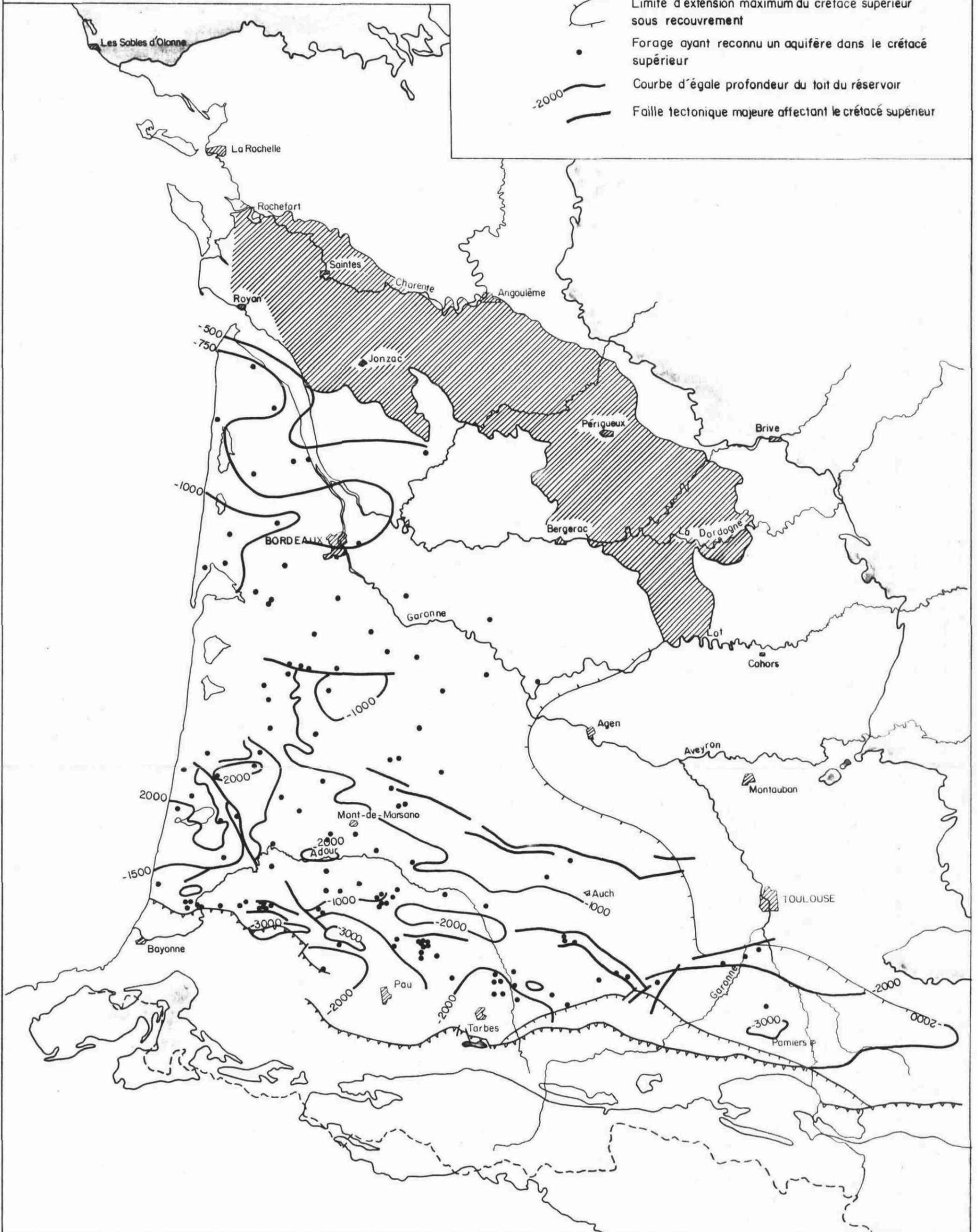


Echelle :



LEGENDE

-  Affleurement du crétacé supérieur
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension maximum du crétacé supérieur sous recouvrement
-  Forage ayant reconnu un aquifère dans le crétacé supérieur
-  Courbe d'égale profondeur du toit du réservoir
-  Faille tectonique majeure affectant le crétacé supérieur



CÉNOMANIEN TURONIEN
PRODUCTIVITÉ
BASSIN AQUITAIN

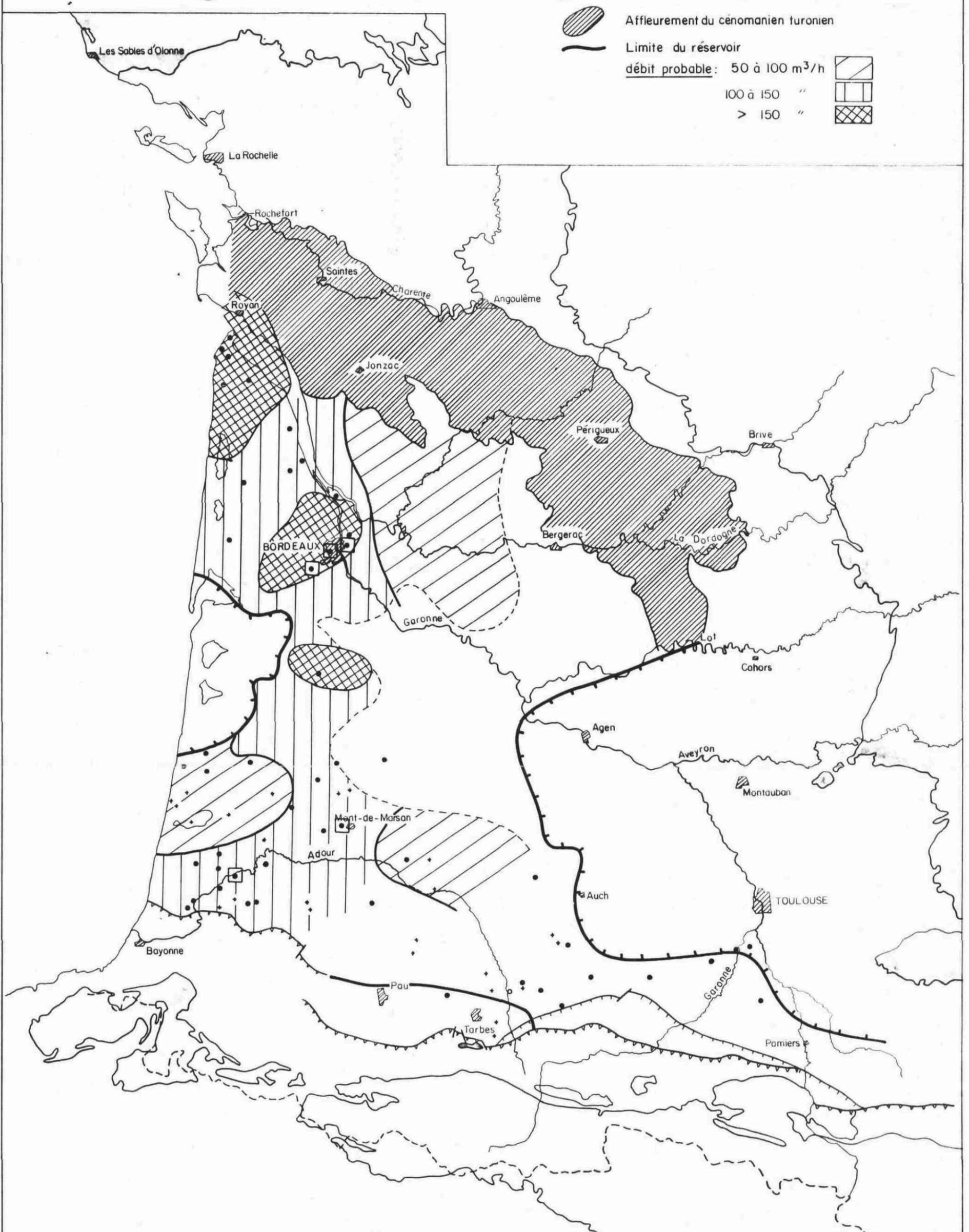
LEGENDE



Echelle :
0 50km



- Puits productif
- Indice de fracturation
- ◻ Puits géothermique
- ◐ Affleurement des terrains anté-triasiques
- Front "nord pyrénéen"
- Front des "Petites Pyrénées"
- ◑ Affleurement du cénomanién turonien
- Limite du réservoir
- débit probable : 50 à 100 m³/h ◻
- 100 à 150 " ◻
- > 150 " ◻



CÉNOMANIEN - TURONIEN

DEGRÉ DE CONNAISSANCE ET
QUALITÉ DE LA RESSOURCE

BASSIN AQUITAIN



0 50km



LEGENDE

-  Affleurement Cénomaniens
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension du Trias sous recouvrement

DÉBIT PROBABLE

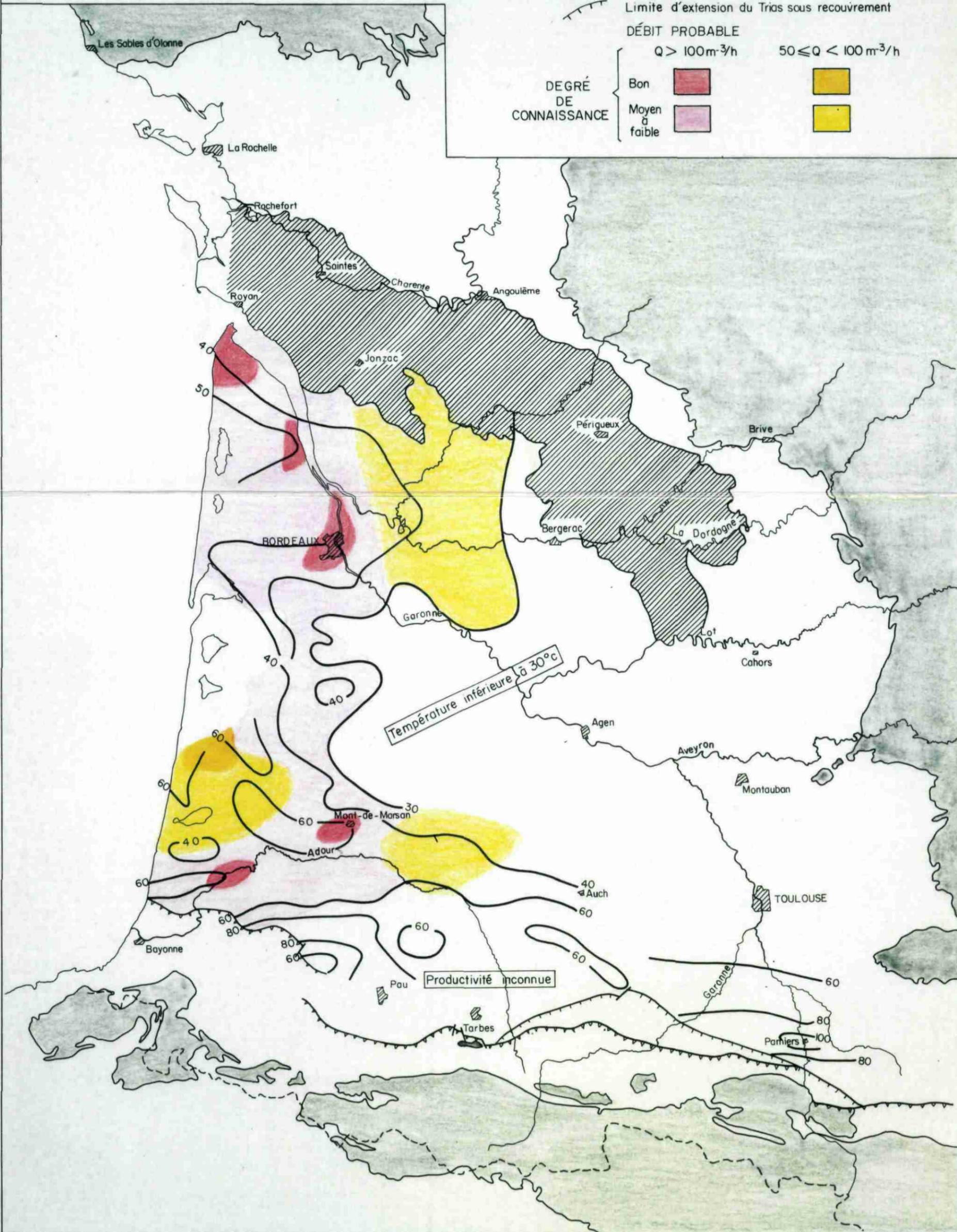
$Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$

$50 \leq Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$

DEGRÉ DE
CONNAISSANCE

- Bon 
- Moyen à faible 

- 
- 



CRÉTACÉ INFÉRIEUR
PROFONDEUR
BASSIN AQUITAIN

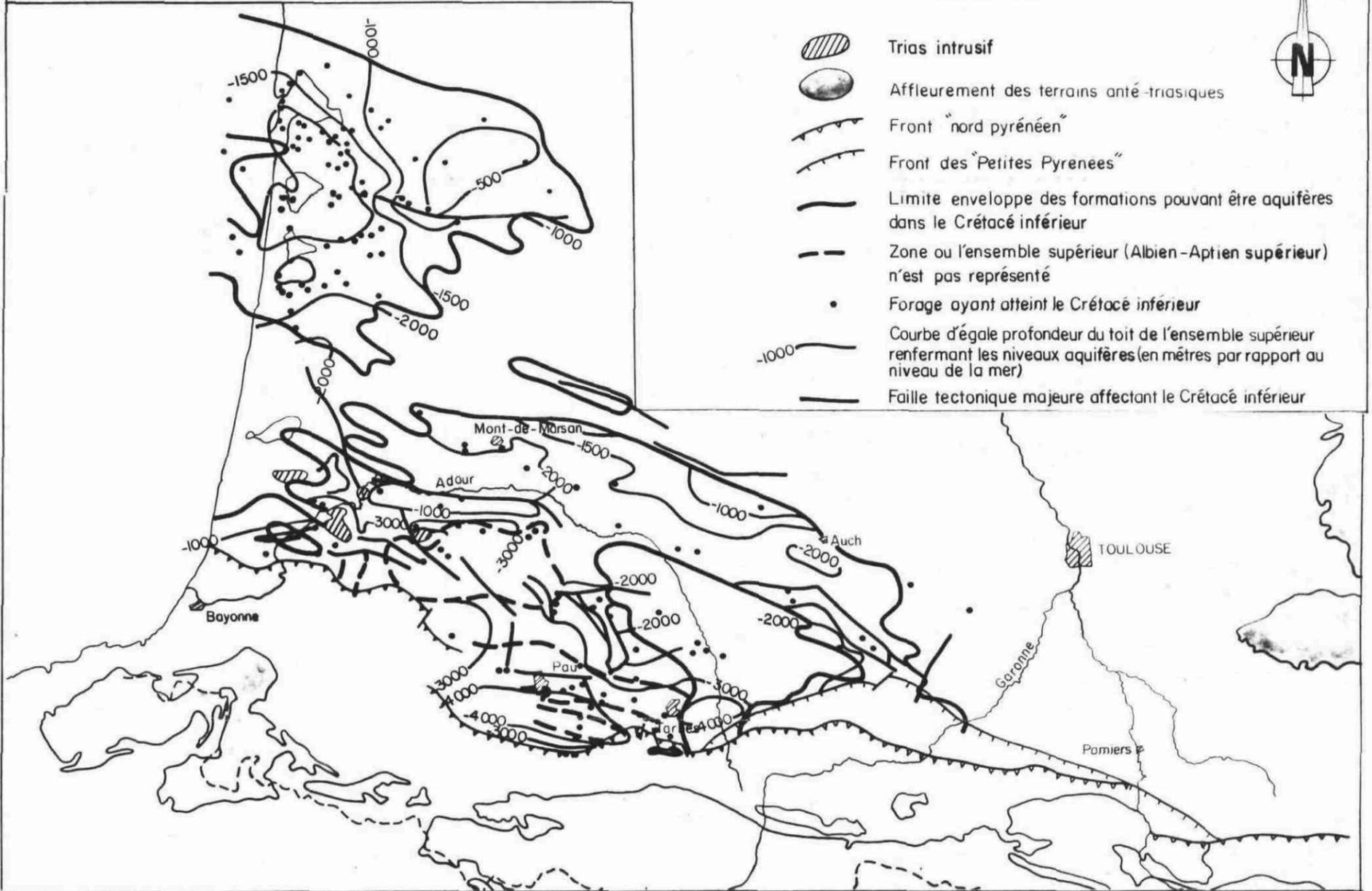
Echelle:

0 50km



LEGENDE

-  Trias intrusif
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite enveloppe des formations pouvant être aquifères dans le Crétacé inférieur
-  Zone où l'ensemble supérieur (Albien-Aptien supérieur) n'est pas représenté
-  Forage ayant atteint le Crétacé inférieur
-  Courbe d'égale profondeur du toit de l'ensemble supérieur renfermant les niveaux aquifères (en mètres par rapport au niveau de la mer)
-  Faille tectonique majeure affectant le Crétacé inférieur



CRÉTACÉ INFÉRIEUR
TEMPÉRATURE
BASSIN AQUITAIN

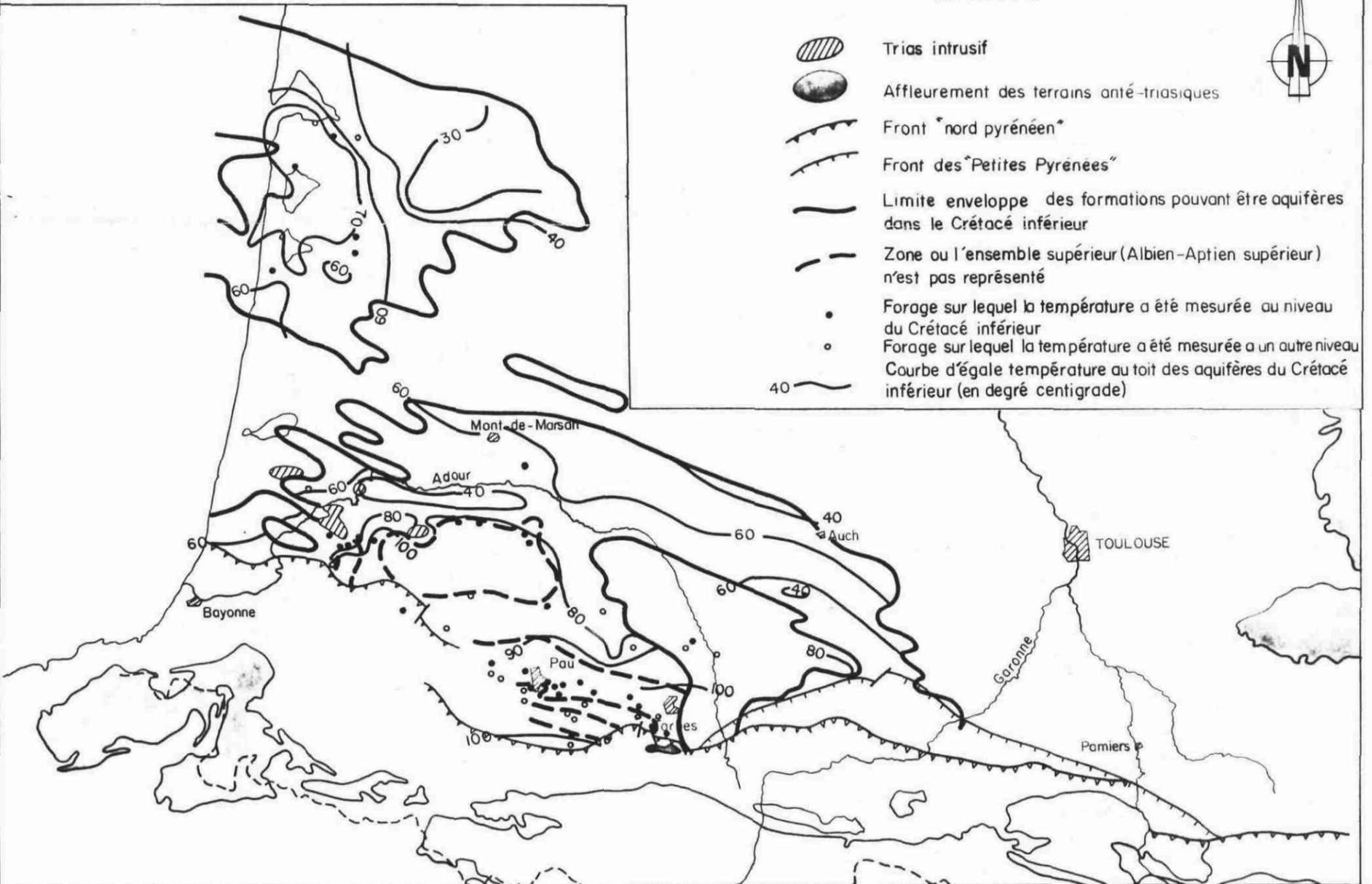
Echelle:

0 50km



LEGENDE

-  Trias intrusif
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite enveloppe des formations pouvant être aquifères dans le Crétacé inférieur
-  Zone où l'ensemble supérieur (Albien-Aptien supérieur) n'est pas représenté
-  Forage sur lequel la température a été mesurée au niveau du Crétacé inférieur
-  Forage sur lequel la température a été mesurée à un autre niveau
-  Courbe d'égale température au toit des aquifères du Crétacé inférieur (en degré centigrade)





CARACTÉRISTIQUES DE RÉSERVOIR

Crétacé inférieur

BASSIN AQUITAIN



Echelle: 0 50km

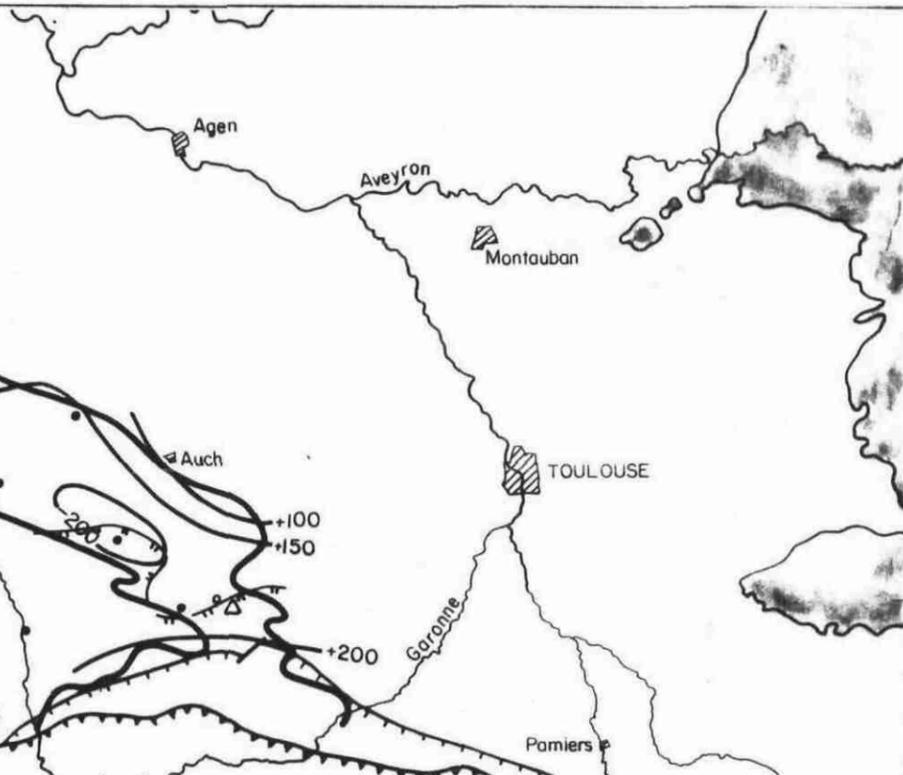
- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Front "nord pyrénéen"
- Front des "Petites Pyrénées"
- Affleurement des terrains du Crétacé inférieur indifférencié
- Trias intrusif affectant le Crétacé inférieur
- Limite enveloppe des formations pouvant être aquifères dans le Crétacé inférieur
- Zone où l'ensemble supérieur (Albien-Aptien supérieur) n'est pas représenté
- Caractéristiques de Réservoir (ensemble supérieur)**
- Niveau productif mis en évidence par essai sur forage pétrolier
- Karsification ou fracturation importante
- Perméabilité déterminée à partir d'un essai sur forage pétrolier
- Piezométrie (ensemble supérieur)**
- Forage où le niveau piézométrique a été déterminé d'après les mesures de pression
- Courbe isopièze (en mètres par rapport au niveau de la mer)
- Limite d'extension septentrionale des indices de gaz



CARACTÉRISTIQUES DE RÉSERVOIR

Ensemble inférieur

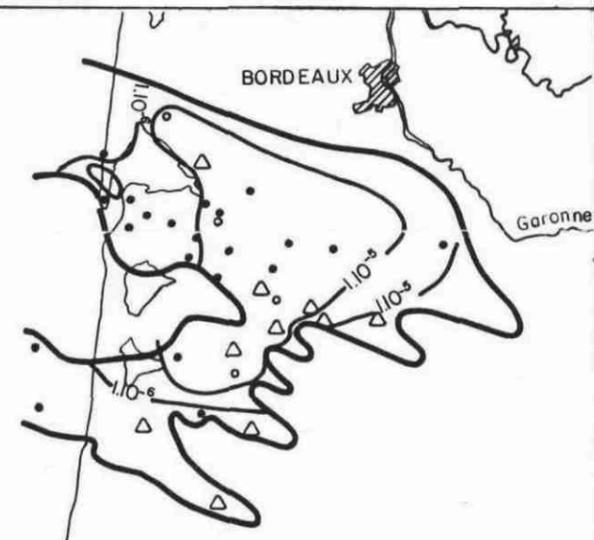
BASSIN AQUITAIN



CARACTÉRISTIQUES DE RÉSERVOIR

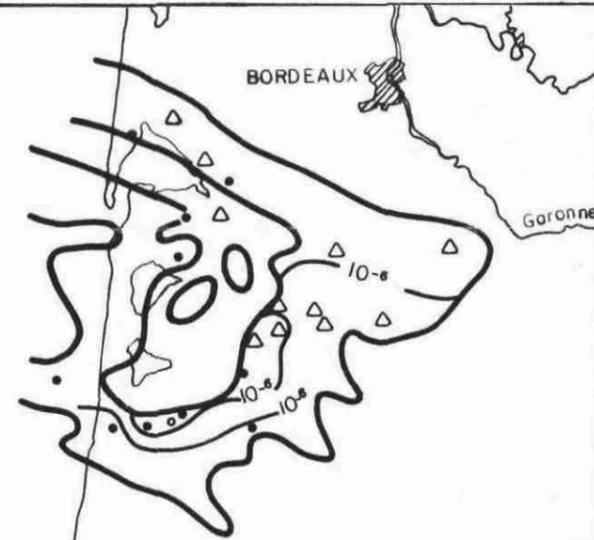
Ensemble supérieur

BASSIN AQUITAIN



LEGENDE

- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Limite des formations aquifères de l'ensemble inférieur (Aptien inférieur à Néocomien)
- Forage productif
- Indice de fracturation ou de karsification
- Point de mesure de la perméabilité à partir d'un essai pétrolier
- Courbe d'égale perméabilité d'après essais pétroliers (en m/s)



LEGENDE

- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Limite des formations aquifères de l'ensemble supérieur (Albien Aptien supérieur)
- Forage productif
- Indice de fracturation ou de karsification
- Point de mesure de la perméabilité à partir d'un essai pétrolier
- Courbe d'égale perméabilité d'après essais pétroliers (en m/s)

JURASSIQUE SUPÉRIEUR DONT DOLOMIE DE MANO

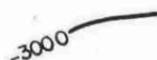
PROFONDEUR BASSIN AQUITAIN



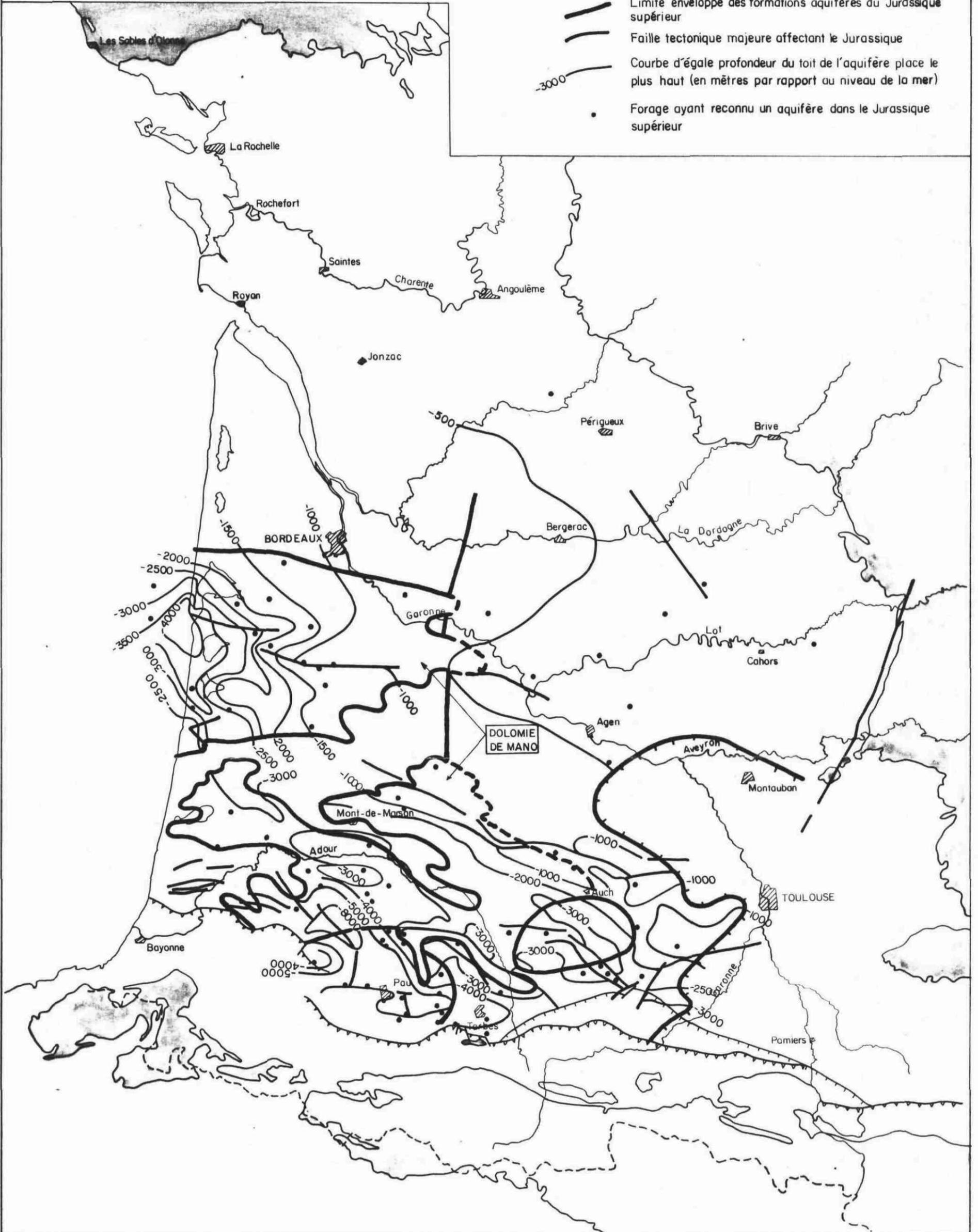
Echelle:

0 50 km

LEGENDE

-  Limite d'extension maximum des formations aquifères sous recouvrement
-  Affleurement des terrains anti-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite enveloppe des formations aquifères du Jurassique supérieur
-  Faille tectonique majeure affectant le Jurassique
-  Courbe d'égale profondeur du toit de l'aquifère place le plus haut (en mètres par rapport au niveau de la mer)
-  Forage ayant reconnu un aquifère dans le Jurassique supérieur

CARTE n° 21



JURASSIQUE SUPÉRIEUR DONT DOLOMIE DE MANO

TEMPERATURE

BASSIN AQUITAIN



Echelle :

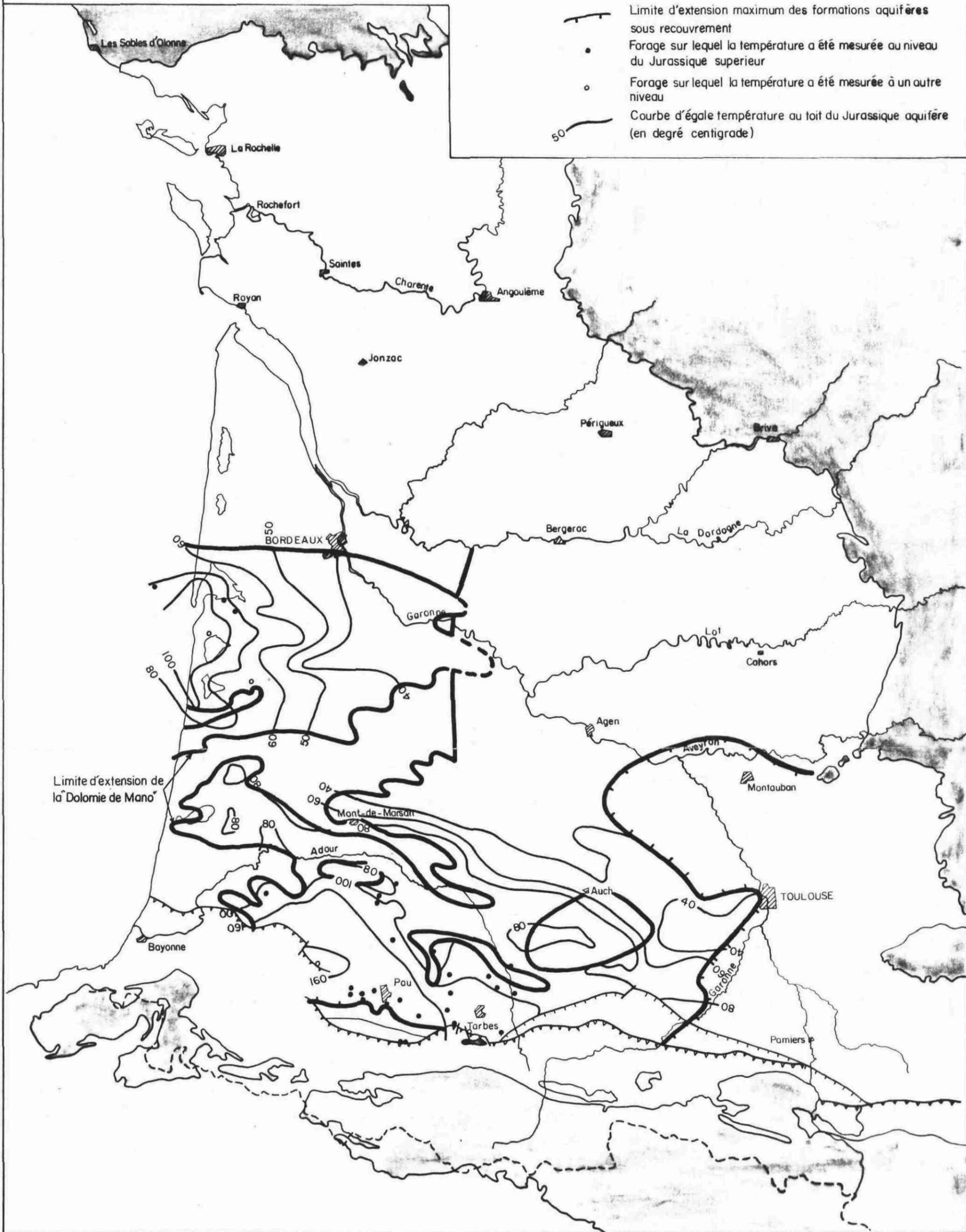


CARTE n° 22



LEGENDE

-  Limite enveloppe des formations aquifères du Jurassique supérieur
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension maximum des formations aquifères sous recouvrement
-  Forage sur lequel la température a été mesurée au niveau du Jurassique supérieur
-  Forage sur lequel la température a été mesurée à un autre niveau
-  Courbe d'égale température au toit du Jurassique aquifère (en degré centigrade)



JURASSIQUE SUPÉRIEUR (DOLOMIE DE MANO)

PRODUCTION

BASSIN AQUITAIN

LEGENDE



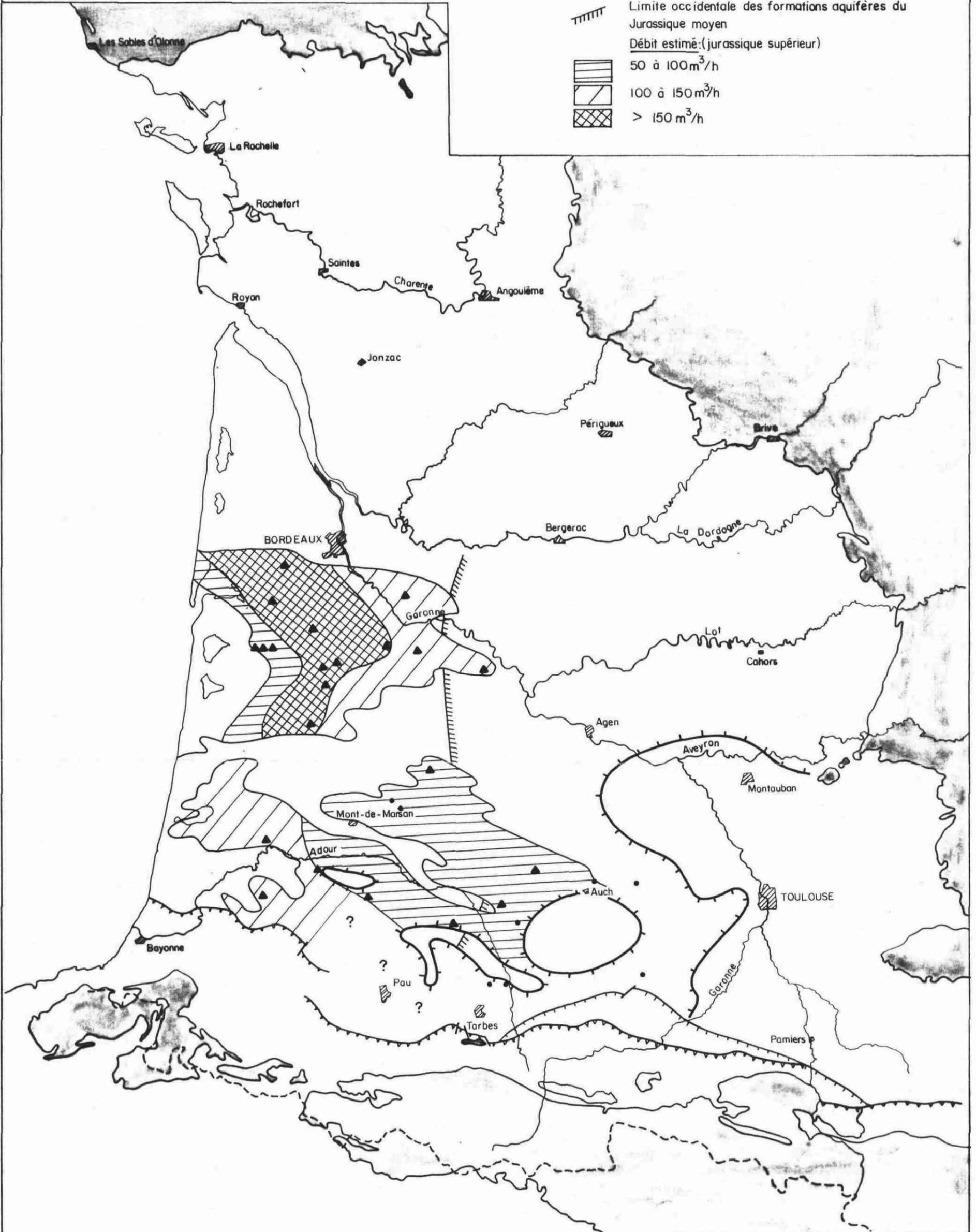
Echelle :

0 50km

CARTE n° 23



- Forage productif
- ▲ Indice de production
- Limite d'extension des formations pouvant être aquifères
- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Front "nord pyrénéen"
- Front des "Petites Pyrénées"
- Limite occidentale des formations aquifères du Jurassique moyen
- Débit estimé: (jurassique supérieur)
- ▨ 50 à 100 m³/h
- ▩ 100 à 150 m³/h
- ▧ > 150 m³/h



DOGGER
PROFONDEUR
BASSIN AQUITAIN

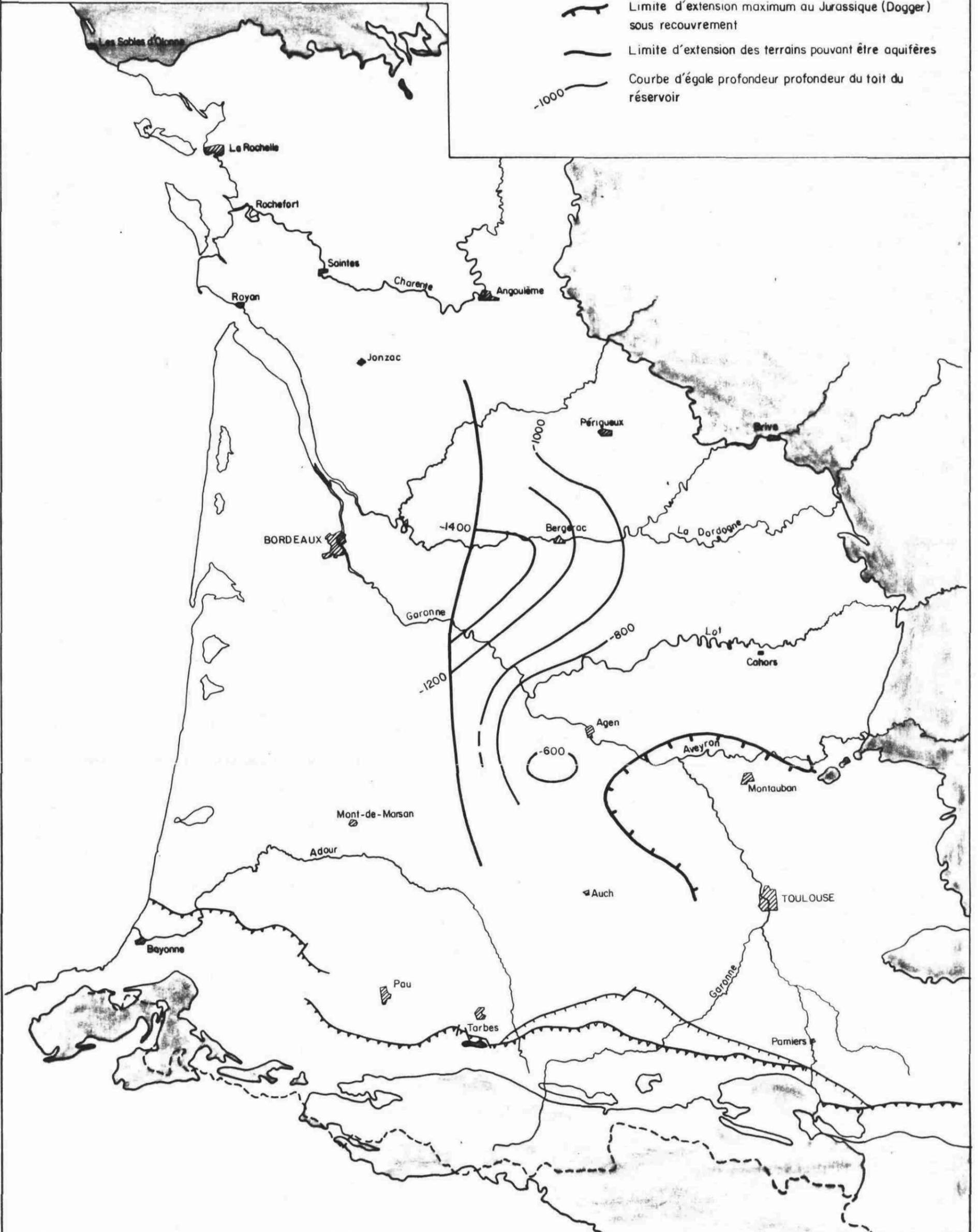


Echelle : 0 50km



LEGENDE

- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Front "nord pyrénéen"
- Front des "Petites Pyrénées"
- Limite d'extension maximum au Jurassique (Dogger) sous recouvrement
- Limite d'extension des terrains pouvant être aquifères
- Courbe d'égale profondeur profondeur du toit du réservoir

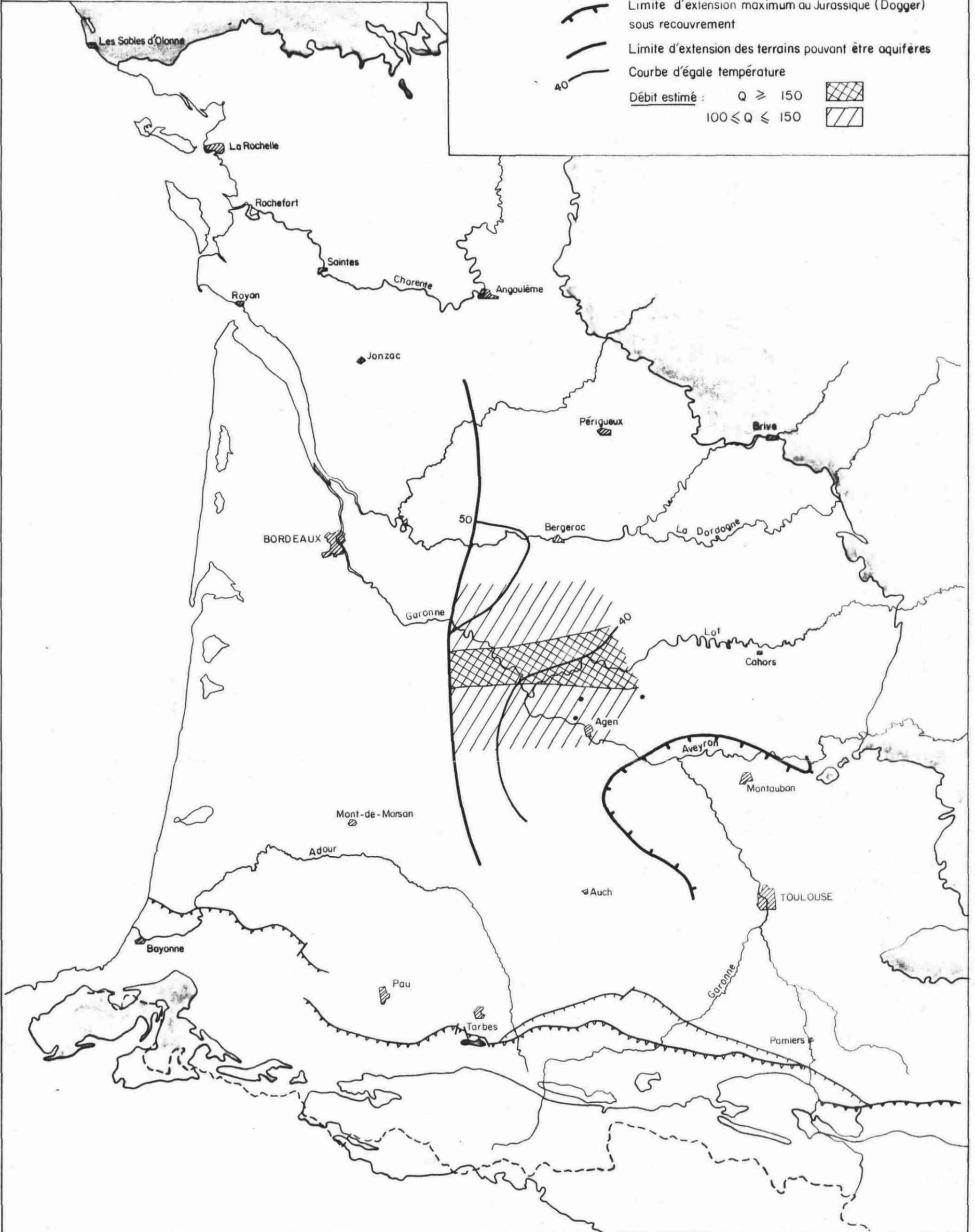




Echelle: 0 50km



-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension maximum au Jurassique (Dogger) sous recouvrement
-  Limite d'extension des terrains pouvant être aquifères
-  Courbe d'égale température
-  Débit estimé : $Q \geq 150$
-  $100 \leq Q \leq 150$



LIAS MOYEN
PROFONDEUR
BASSIN AQUITAIN

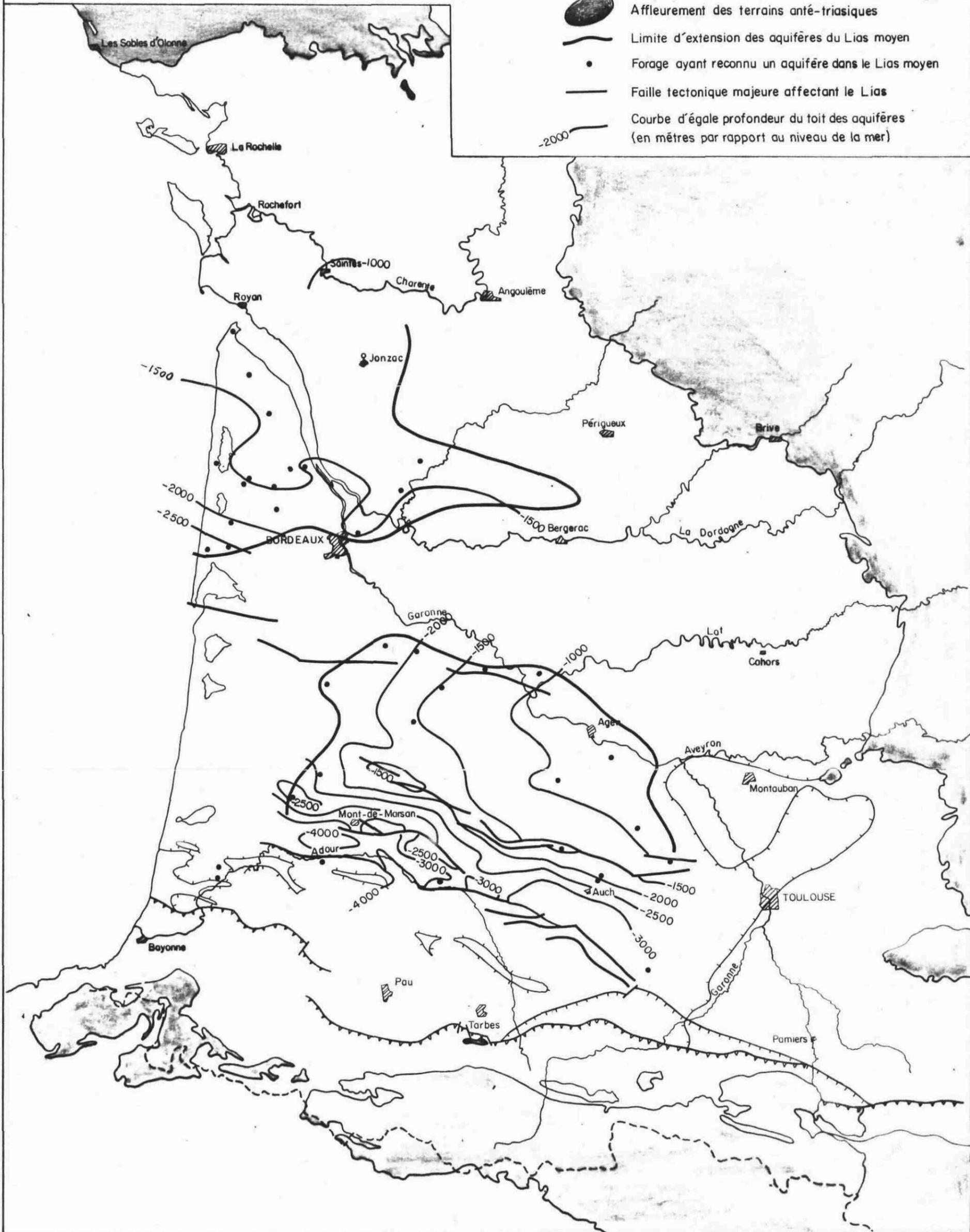
LEGENDE



Echelle : 0 50km



- Front "nord pyrénéen"
- Front des "Petites Pyrénées"
- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Limite d'extension des aquifères du Lias moyen
- Forage ayant reconnu un aquifère dans le Lias moyen
- Faille tectonique majeure affectant le Lias
- Courbe d'égale profondeur du toit des aquifères (en mètres par rapport au niveau de la mer)



LIAS MOYEN TEMPÉRATURE

BASSIN AQUITAIN

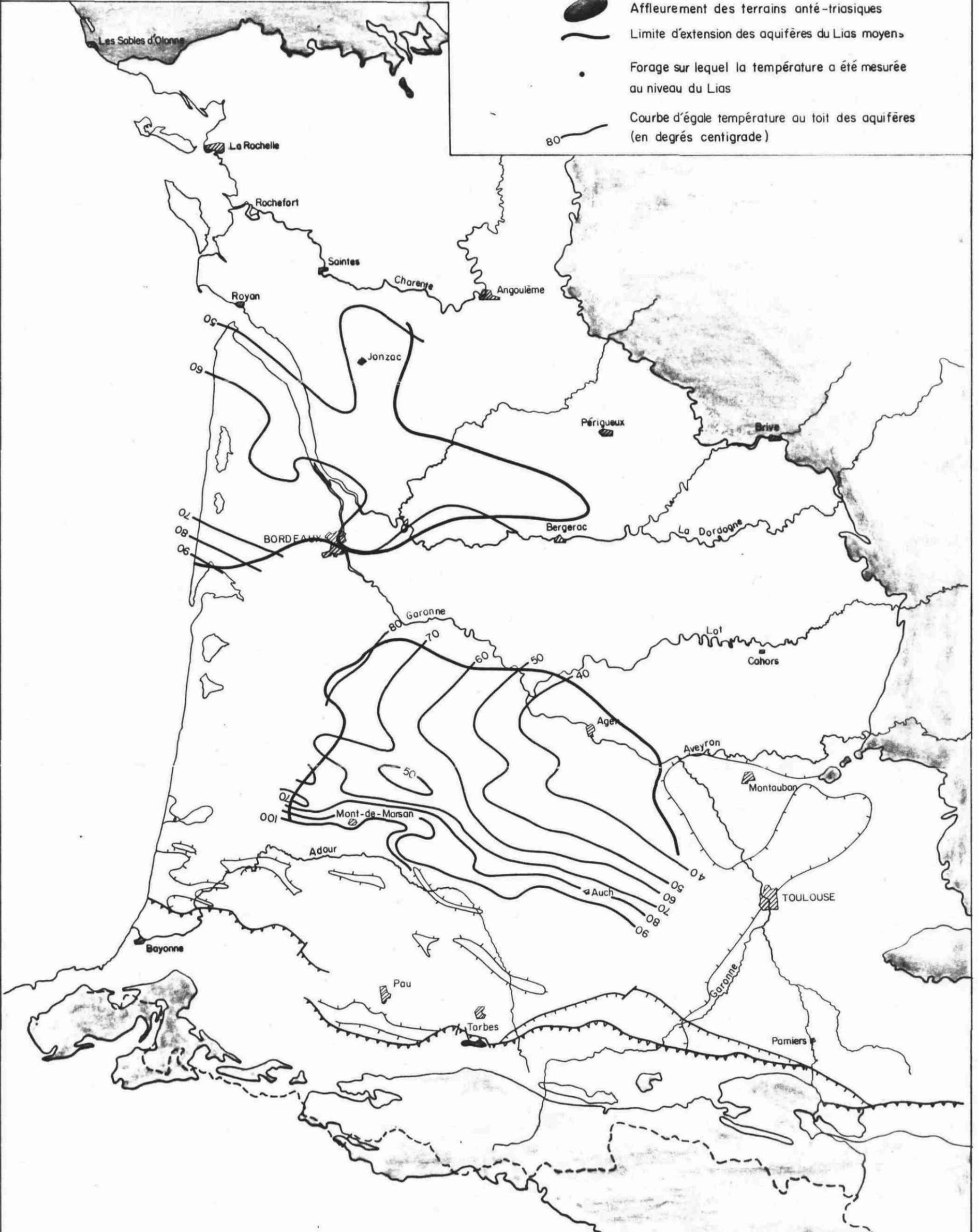
LEGENDE



Echelle: 0 50km



- Front "nord pyrénéen"
- Front des "Petites Pyrénées"
- Affleurement des terrains anté-triasiques
- Limite d'extension des aquifères du Lias moyen
- Forage sur lequel la température a été mesurée au niveau du Lias
- Courbe d'égalité température au toit des aquifères (en degrés centigrade)



RÉSERVOIR LIAS INFÉRIEUR - TRIAS

PROFONDEUR

BASSIN AQUITAIN



Echelle:

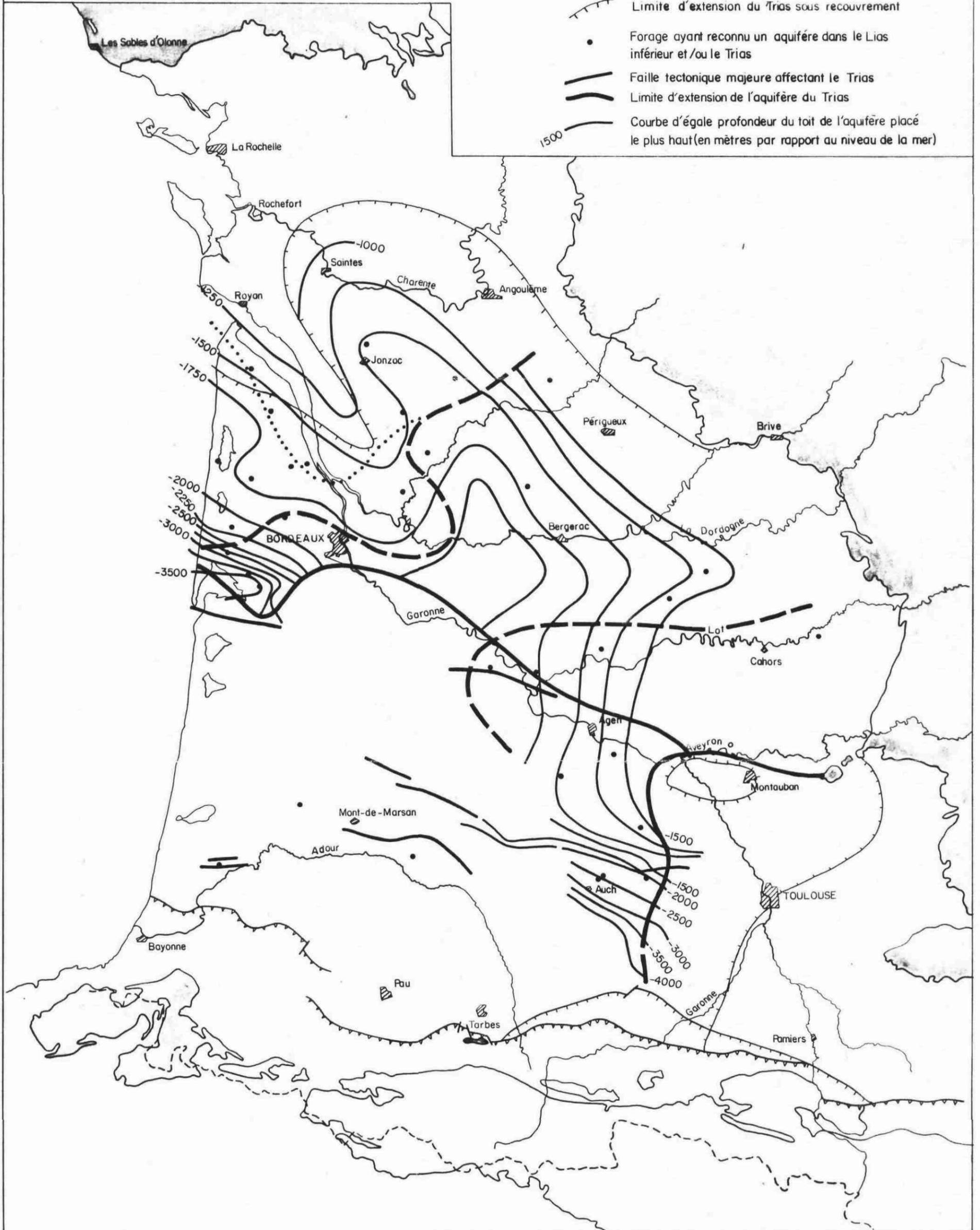
0 50km

CARTE n° 28



LEGENDE

-  Limite des grès du Lias inférieur
-  Limite d'extension de l'aquifère du Lias inférieur
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension du Trias sous recouvrement
-  Forage ayant reconnu un aquifère dans le Lias inférieur et/ou le Trias
-  Faille tectonique majeure affectant le Trias
-  Limite d'extension de l'aquifère du Trias
-  Courbe d'égale profondeur du toit de l'aquifère placé le plus haut (en mètres par rapport au niveau de la mer)



RÉSERVOIR LIAS INFÉRIEUR - TRIAS

TEMPÉRATURE

BASSIN AQUITAIN



Echelle :

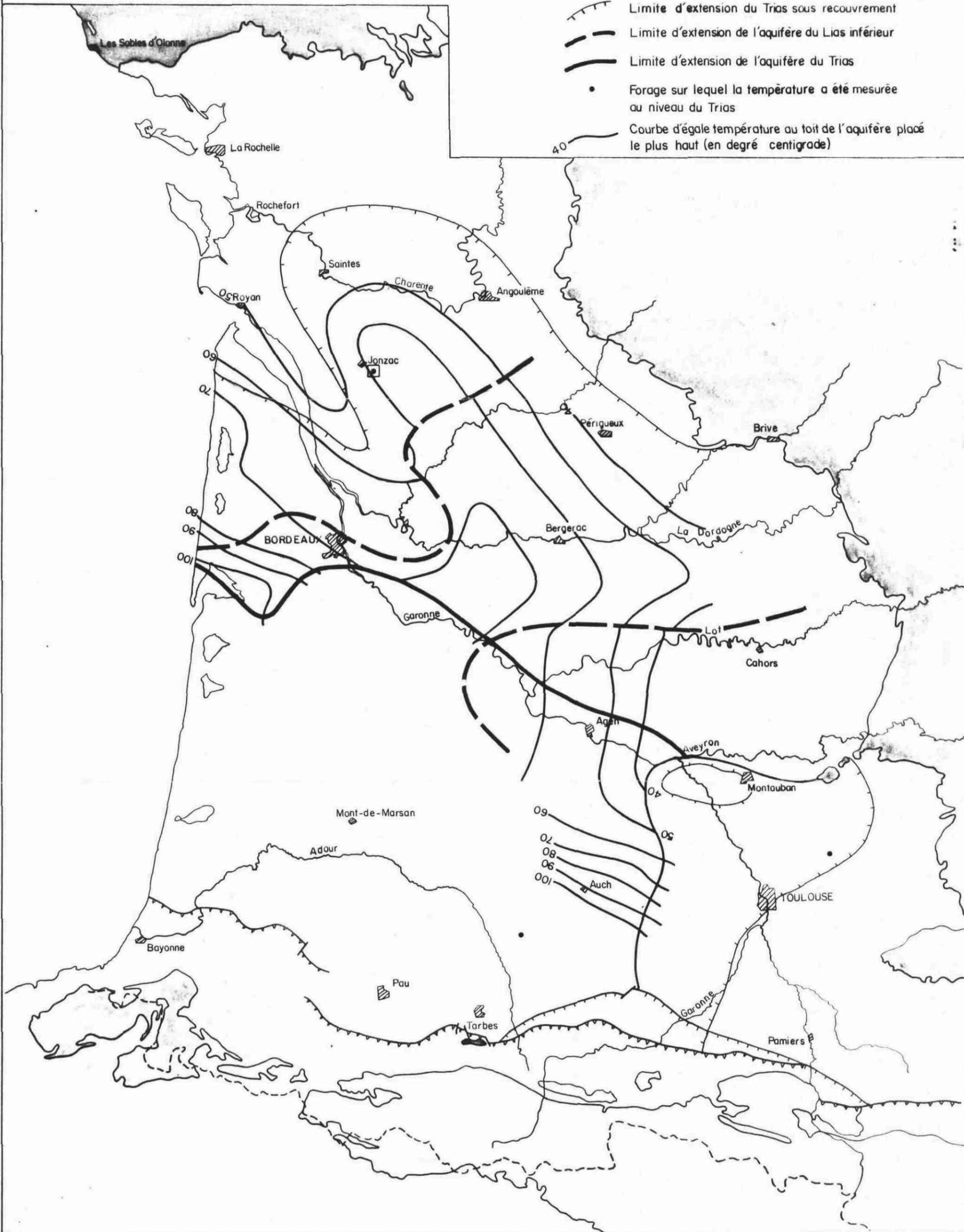
0 50km



CARTE n° 29

LEGENDE

-  Forage géothermique
-  Affleurement des terrains anté-triasiques
-  Front "nord pyrénéen"
-  Front des "Petites Pyrénées"
-  Limite d'extension du Trias sous recouvrement
-  Limite d'extension de l'aquifère du Lias inférieur
-  Limite d'extension de l'aquifère du Trias
-  Forage sur lequel la température a été mesurée au niveau du Trias
-  Courbe d'égale température au toit de l'aquifère placé le plus haut (en degré centigrade)



CARTE n° 30

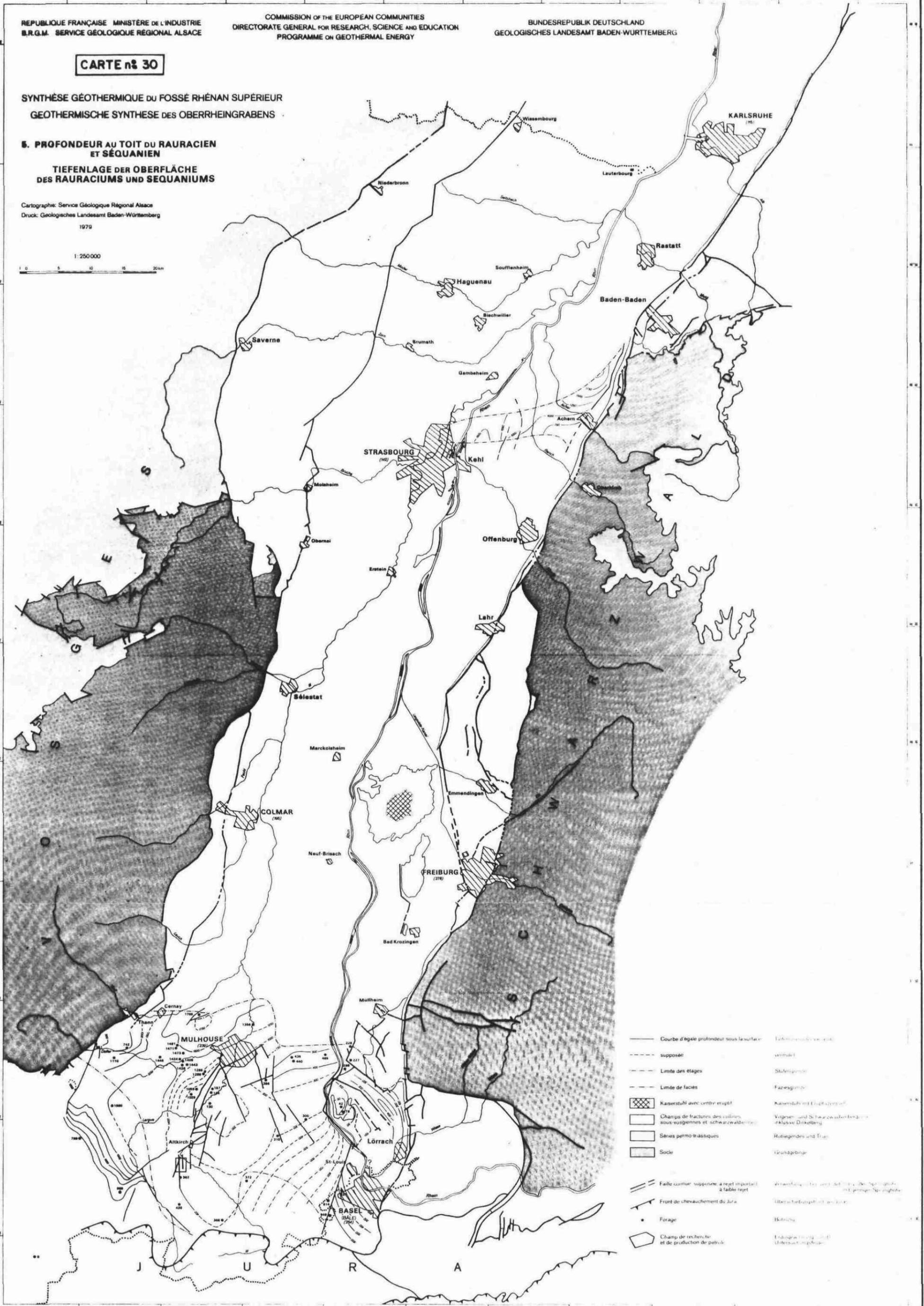
**SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS**

**5. PROFONDEUR AU TOIT DU RAURACIEN
ET SÉQUANIEN**

**TIEFENLAGE DER OBERFLÄCHE
DES RAURACIUMS UND SEQUANIUMS**

Cartographie: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250 000



- | | | |
|-----------|---|---|
| — | Courbe d'égalie profondeur sous la surface | Isobathes (unterirdisch) |
| - - - | supposé | vermutet |
| - · - · - | Limite des étages | Stufengrenze |
| - - - - - | Limite de faciès | Faziesgrenze |
| ▨ | Kaiserstuhl avec centre éruptif | Kaiserstuhl mit Ergänzungskeil |
| ▤ | Champs de fractures des collines sous-vosgiennes et schwarzwaldennes, inclusive Dinkelsbühl | Vogesen- und Schwarzwaldensenkung inklusive Dinkelsbühl |
| ▥ | Séries permotriassiques | Rotliegendes und Trias |
| ▧ | Solde | Grundgebirge |
| ▩ | Faïte curvée: supposez à relief imparfait à l'abre rejet | Wendekuppe: vermutet mit unvollständiger und ungerichteter Spitzung |
| ▪ | Front de chevauchement du Jura | Überschiebungsschritt des Jura |
| ● | Forage | Borung |
| ◻ | Champ de recherche et de production de pétrole | Erforschungs- und Produktionsgebiet |

CARTE n° 31

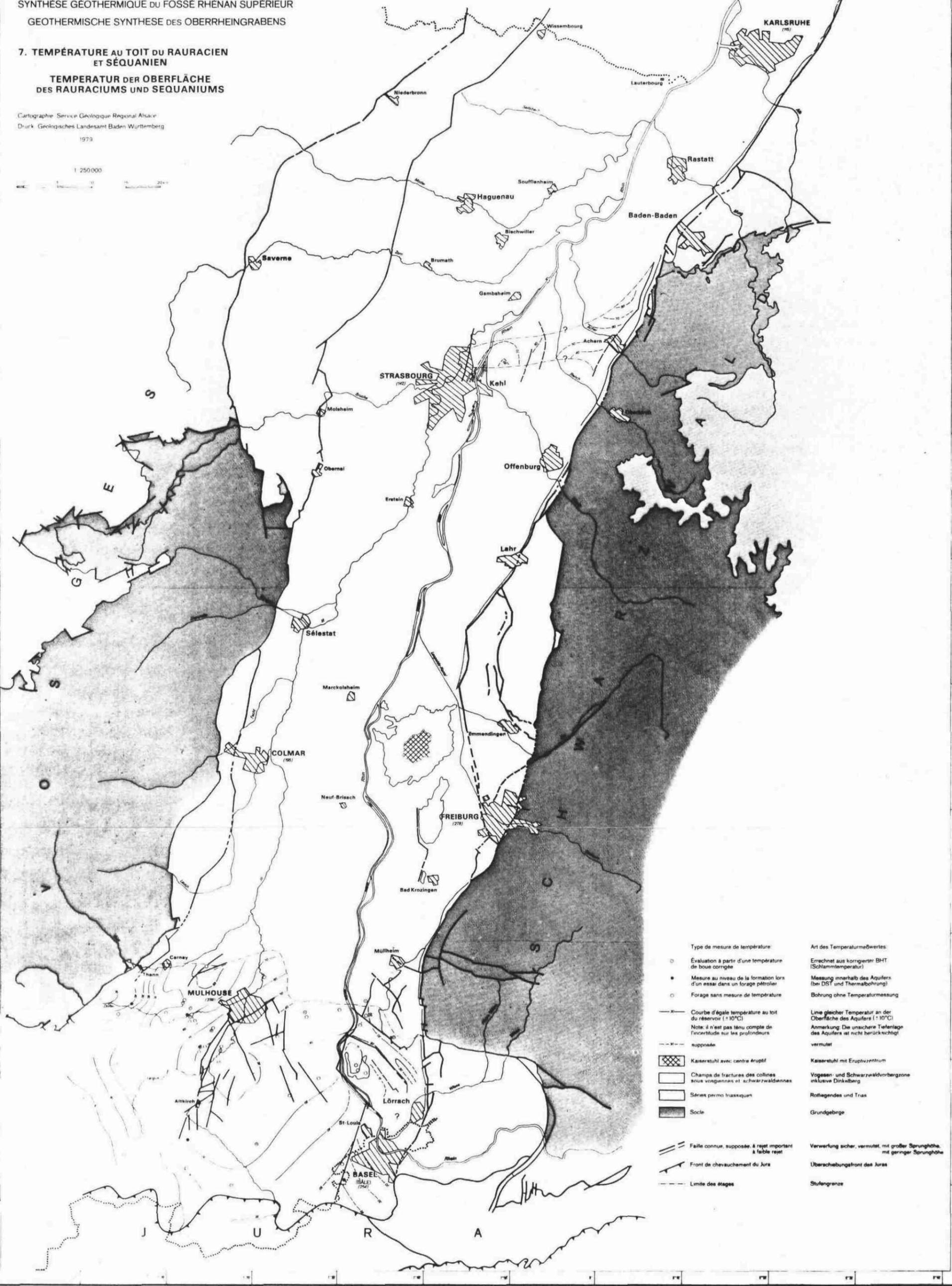
SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOTHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS

7. TEMPÉRATURE AU TOIT DU RAURACIEN ET SÉQUANIEN
ET SÉQUANIEN

TEMPERATUR DER OBERFLÄCHE
DES RAURACIUMS UND SEQUANIUMS

Cartographe: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250 000



Type de mesure de température	Art des Températurewertes
○ Évaluation à partir d'une température de boue corrigée	Errechnet aus korrigierter BHT (Schlammtemperatur)
● Mesure au niveau de la formation lors d'un essai dans un forage pétrolier	Messung innerhalb des Aquifers (bei DST und Thermalbohrung)
○ Forage sans mesure de température	Bohrung ohne Temperaturmessung
— Courbe d'égalité température au toit du réservoir (+10°C) Note: il n'est pas tenu compte de l'incertitude sur les profondeurs	Linie gleicher Temperatur an der Oberfläche des Aquifers (+10°C) Anmerkung: Die unsichere Tiefenlage des Aquifers ist nicht berücksichtigt
- - - - - supposée	vermutet
⊠ Kaiserstuhl avec centre éruptif	Kaiserstuhl mit Eruptivzentrum
▭ Champs de fractures des collines sous vosgiennes et schwarzwaldennes	Vogesen- und Schwarzwaldvorbergzone inklusive Dinkelberg
▭ Sables permio-triassiques	Rotliegendes und Trias
■ Socle	Grundgebirge
—/— Faille connue, supposée, à rejet important à faible rejet	Verwerfung sicher, vermutet, mit großer Sprunghöhe, mit geringer Sprunghöhe
↗ Front de chevauchement du Jura	Überschiebungsfrent des Juras
- - - - - Limite des étages	Stufengrenze

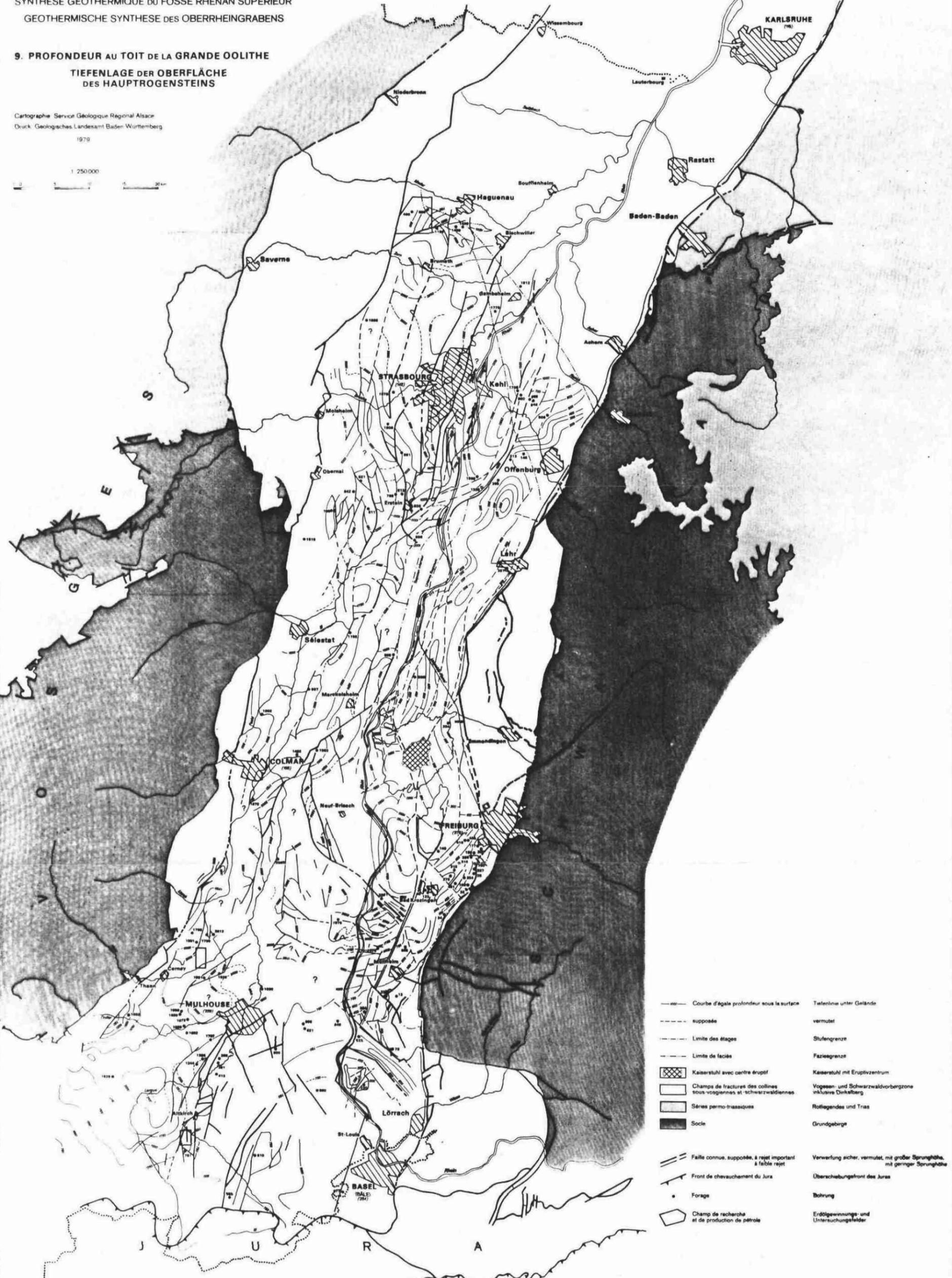
CARTE n° 32

**SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSE RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOTHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS**

**9. PROFONDEUR AU TOIT DE LA GRANDE OOLITHE
TIEFENLAGE DER OBERFLÄCHE
DES HAUPTTROGENSTEINS**

Cartographe: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250 000



- | | | |
|---------------------|---|---|
| —•—•— | Courbe d'égalité profondeur sous la surface | Tafellinie unter Gelände |
| - - - - - | supposée | vermutet |
| - · - · - | Limite des étages | Stufengrenze |
| - · - - - | Limite de faciès | Faziesgrenze |
| [Cross-hatched box] | Kaiserstuhl avec centre éruptif | Kaiserstuhl mit Eruptivzentrum |
| [White box] | Champs de fractures des collines sous-vosgiennes et schwarzwaldiennes | Vogesen- und Schwarzwaldvorbergzone inklusive Dinkelberg |
| [Light grey box] | Séries permotriassiques | Rotliegendes und Trias |
| [Dark grey box] | Socle | Grundgebirge |
| [Dashed line] | Faïlle connue, supposée, à rejet important à faible rejet | Verwerfung sicher, vermutet, mit großer Sprunghöhe, mit geringer Sprunghöhe |
| [Arrow] | Front de chevauchement du Jura | Überschiebungsfreont des Juras |
| [Star] | Forage | Bohrung |
| [Square] | Champ de recherche et de production de pétrole | Erdölgewinnungs- und Untersuchungsfelder |

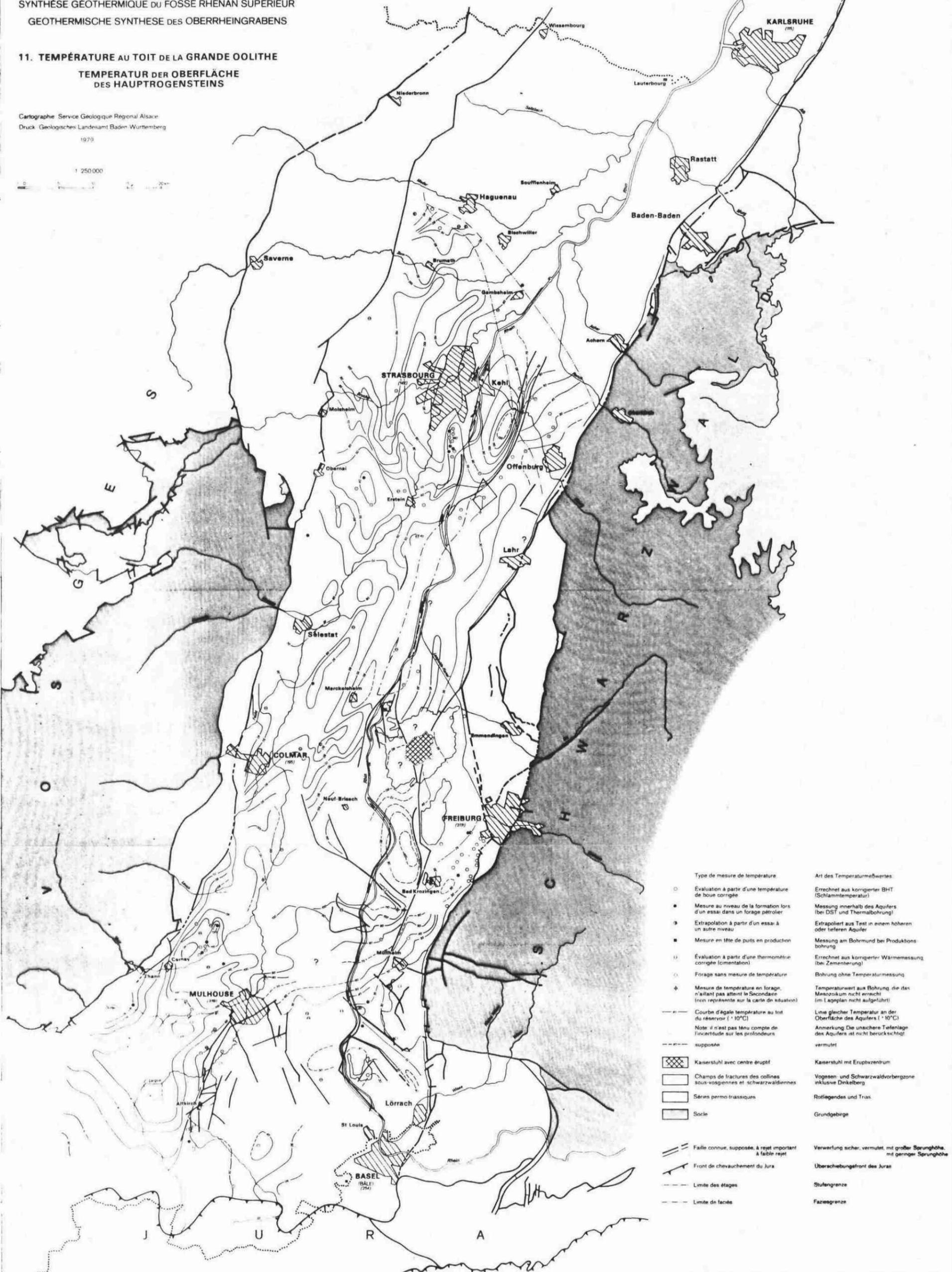
CARTE n° 33

**SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOOTHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS**

**11. TEMPÉRATURE AU TOIT DE LA GRANDE OOLITHE
TEMPERATUR DER OBERFLÄCHE
DES HAUPTTROGENSTEINS**

Cartographie: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250 000



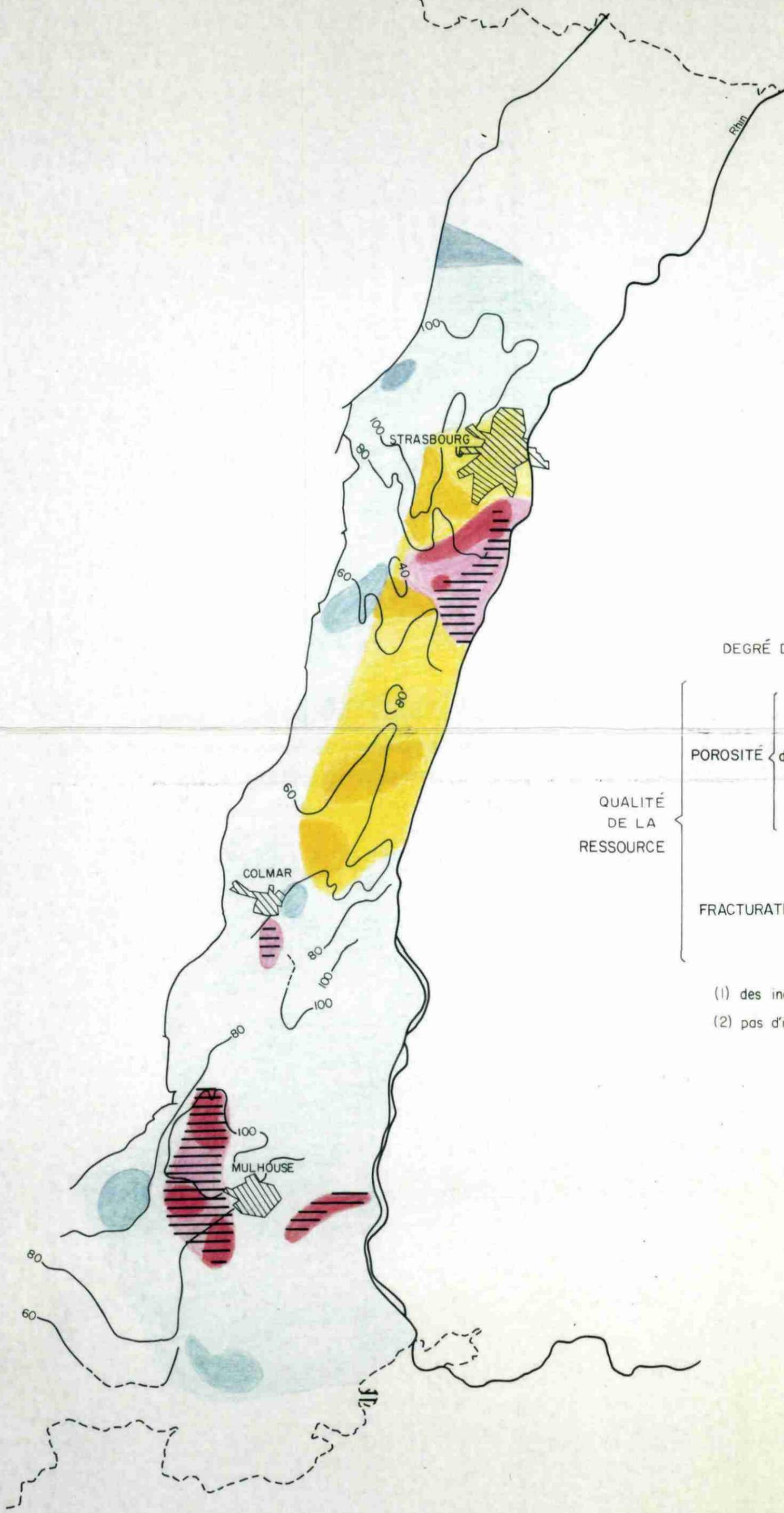
- | | | | |
|-----|--|-----|---|
| ○ | Évaluation à partir d'une température de boue corrigée | ○ | Art des Températuremeswertes
Errechnet aus korrigierter BHT (Schlammtemperatur) |
| ● | Mesure au niveau de la formation lors d'un essai dans un forage pétrolier | ● | Messung innerhalb des Aquifers (bei DST und Thermalbohrung) |
| ⊙ | Extrapolation à partir d'un essai à un autre niveau | ⊙ | Extrapoliert aus Test in einem höheren oder tieferen Aquifer |
| ■ | Mesure en tête de puits en production | ■ | Messung am Bohrmund bei Produktionsbohrung |
| ⊕ | Évaluation à partir d'une thermométrie corrigée (cimentation) | ⊕ | Errechnet aus korrigierter Wärmemessung (bei Zementierung) |
| ○ | Forage sans mesure de température | ○ | Bohrung ohne Temperaturmessung |
| + | Mesure de température en forage, n'ayant pas atteint la Secondaire (non représentée sur la carte de situation) | + | Temperaturwert aus Bohrung, die das Mesozikum nicht erreicht (im Lageplan nicht aufgeführt) |
| — | Courbe d'égalité température au toit du réservoir (· 10°C) | — | Linie gleicher Temperatur an der Oberfläche des Aquifers (· 10°C) |
| --- | Note: il n'est pas tenu compte de l'incertitude sur les profondeurs | --- | Anmerkung: Die unsichere Tiefenlage des Aquifers ist nicht berücksichtigt |
| --- | supposée | --- | vermutet |
| ⊗ | Kaiserstuhl avec centre éruptif | ⊗ | Kaiserstuhl mit Eruptivzentrum |
| ▨ | Champs de fractures des collines sous-vosgiennes et schwarzwaldiennes | ▨ | Vogesen- und Schwarzwaldvorbergzone inklusive Dinkelberg |
| ▨ | Séries permotriassiques | ▨ | Rotliegendes und Trias |
| ▨ | Socle | ▨ | Grundgebirge |
| --- | Faïlle connue, supposée, à rejet important à faible rejet | --- | Verwerfung sicher, vermutet, mit großer Sprunghöhe, mit geringer Sprunghöhe |
| --- | Front de chevauchement du Jura | --- | Überschiebungsfond des Juras |
| --- | Limite de étages | --- | Stufengrenze |
| --- | Limite de faciès | --- | Faziesgrenze |

AQUIFÈRE DE LA GRANDE OOLITHE

CARTE n° 34

Réservoir à porosité de fissures ou de matrice

CARTE DU DEGRÉ DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE



LÉGENDE

DEGRÉ DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE

QUALITÉ DE LA RESSOURCE	DEGRÉ DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE	
	Bon à moyen	Faible
POROSITÉ	> 15%	
	de 10 à 15%	
	< 10%	
FRACTURATION	(1)	
	(2)	

(1) des indices de fracturation existent

(2) pas d'indice de fracturation



0 5 10 15 20km



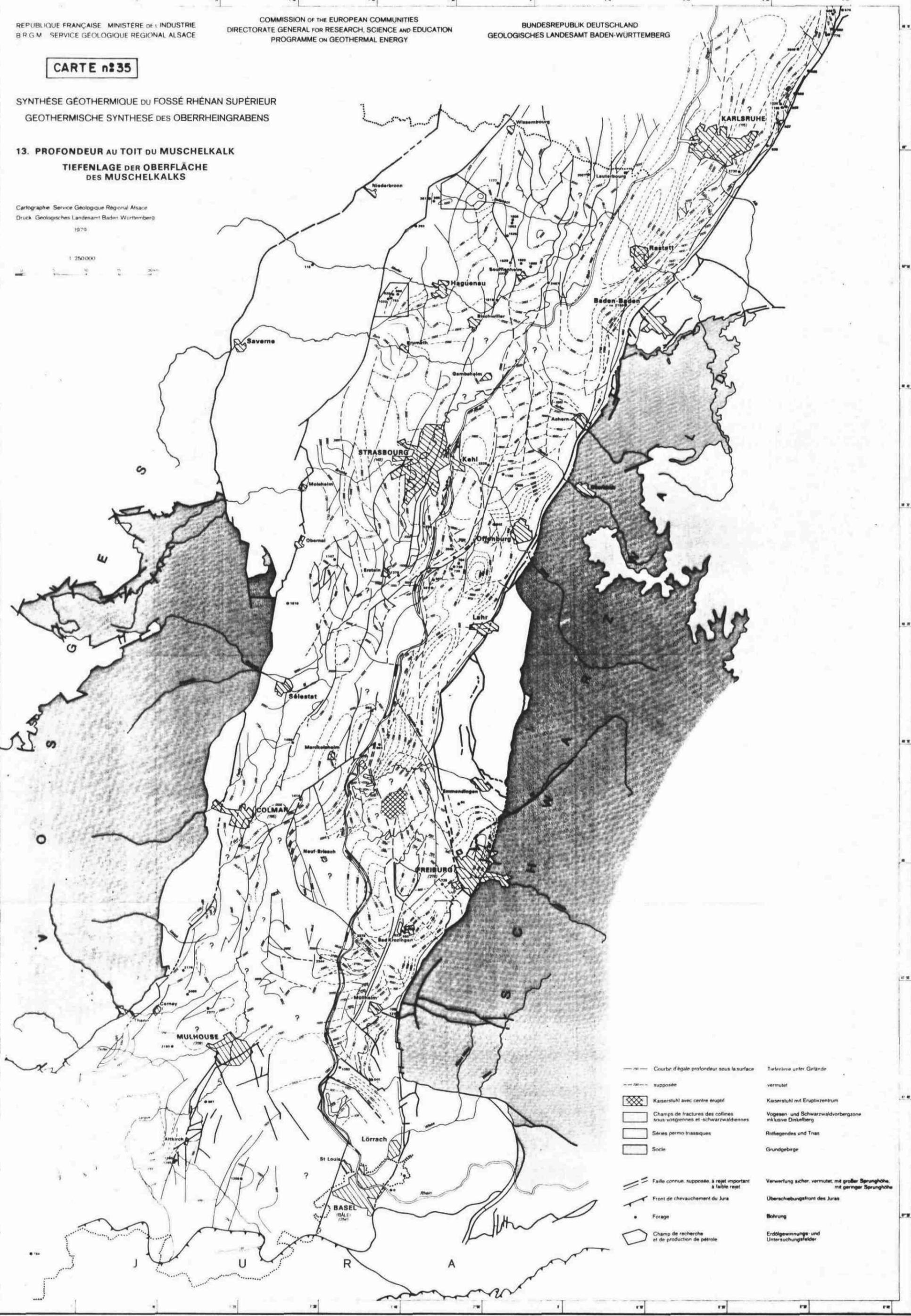
CARTE n°35

SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOTHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS

13. PROFONDEUR AU TOIT DU MUSCHELKALK
TIEFENLAGE DER OBERFLÄCHE
DES MUSCHELKALKS

Cartographie: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250000



- | | | |
|--------------------------|---|---|
| — 100 — | Courbe d'égale profondeur sous la surface | Tiefenlinie unter Gelände |
| - - - | supposée | vermutet |
| [Cross-hatched box] | Kaiserstuhl avec centre éruptif | Kaiserstuhl mit Eruptivzentrum |
| [Dotted box] | Champs de fractures des collines sous-vosgiennes et schwarzwald-ennes | Vogesen und Schwarzwaldvorbergzone inklusive Dinkelberg |
| [Horizontal lines box] | Séries permotriassiques | Rotliegendes und Trias |
| [Vertical lines box] | Socle | Grundgebirge |
| [Double line with arrow] | Faïte connue, supposée, à rejet important à faible rejet | Verwerfung sicher, vermutet, mit großer Sprunghöhe, mit geringer Sprunghöhe |
| [Arrow] | Front de chevauchement du Jura | Überschiebungsfrent des Juras |
| [Dot] | Forage | Bohrung |
| [Dashed line] | Champ de recherche et de production de pétrole | Erdölgewinnungs- und Untersuchungsfelder |

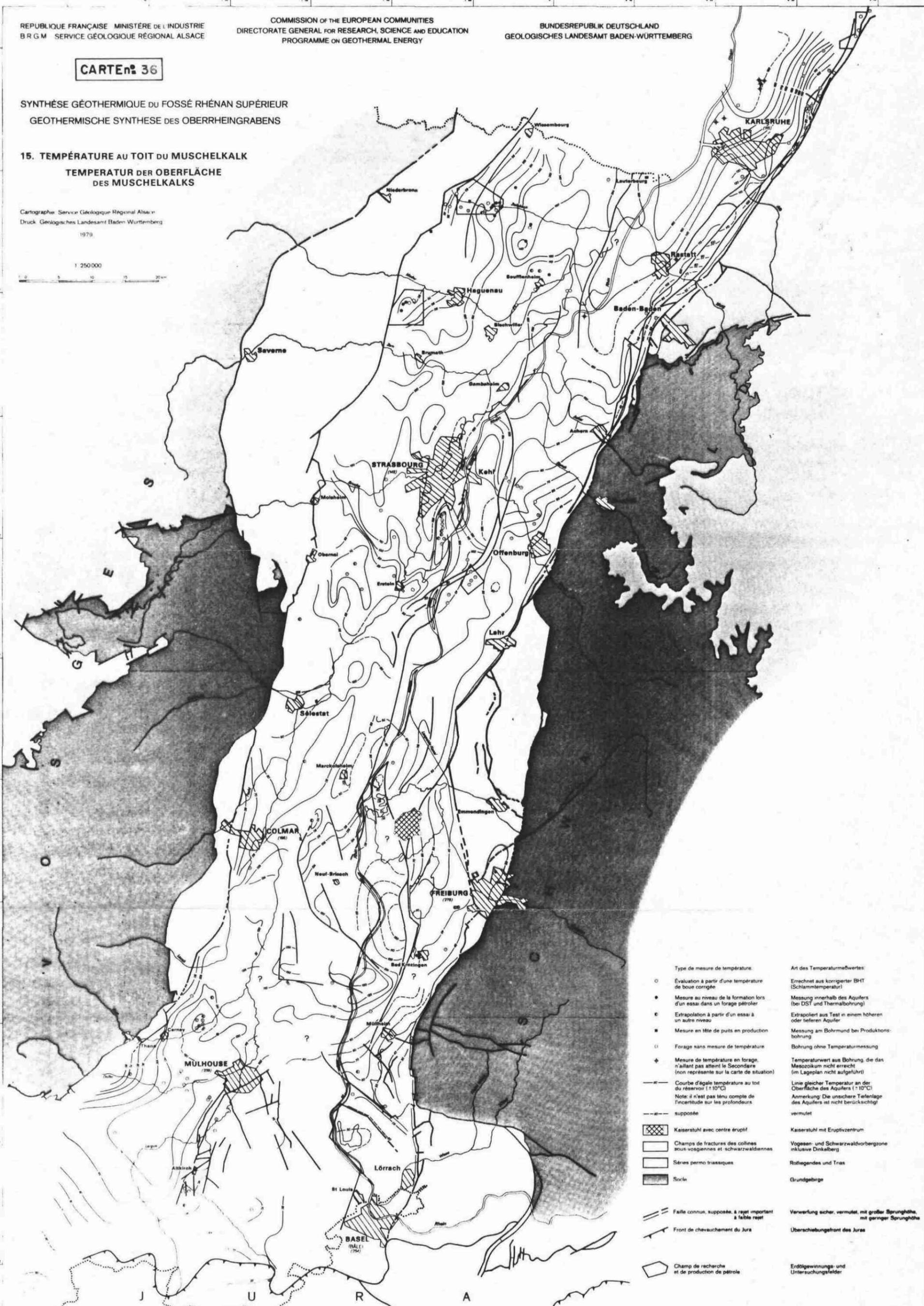
CARTE n° 36

**SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS**

**15. TEMPÉRATURE AU TOIT DU MUSCHELKALK
TEMPERATUR DER OBERFLÄCHE
DES MUSCHELKALKS**

Cartographe: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250 000



- | | | | |
|-------|--|-------|---|
| ○ | Évaluation à partir d'une température de boue corrigée | ○ | Errechnet aus korrigierter BHT (Schlammtemperatur) |
| ● | Mesure au niveau de la formation lors d'un essai dans un forage pétrolier | ● | Messung innerhalb des Aquifers (bei DST und Thermalbohrung) |
| ◐ | Extrapolation à partir d'un essai à un autre niveau | ◐ | Extrapoliert aus Test in einem höheren oder tieferen Aquifer |
| ■ | Mesure en tête de puits en production | ■ | Messung am Bohrmund bei Produktionsbohrung |
| □ | Forage sans mesure de température | □ | Bohrung ohne Temperaturmessung |
| ◆ | Mesure de température en forage, n'allant pas atteint le Secondaire (non représentée sur la carte de situation) | ◆ | Temperaturwert aus Bohrung, da das Mesozoikum nicht erreicht (im Lageplan nicht aufgeführt) |
| — | Courbe d'égale température au toit du réservoir (+10°C)
Note: il n'est pas tenu compte de l'incertitude sur les profondeurs | — | Linie gleicher Temperatur an der Oberfläche des Aquifers (+10°C)
Anmerkung: Die unsichere Tiefenlage des Aquifers ist nicht berücksichtigt |
| - - - | supposée | - - - | vermutet |
| ⊗ | Kaiserstuhl avec centre éruptif | ⊗ | Kaiserstuhl mit Eruptivzentrum |
| ▨ | Champs de fractures des collines sous-vosgiennes et schwarzwaldiennes | ▨ | Vogesen- und Schwarzwaldvorbergzone inklusive Dinkelberg |
| ▩ | Séries permotriassiques | ▩ | Rotliegendes und Trias |
| ■ | Socke | ■ | Grundgebirge |
| — | Faïte connue, supposée, à rejet important à faible rejet | — | Verwerfung sicher, vermutet, mit großer Sprunghöhe, mit geringer Sprunghöhe |
| — | Front de chevauchement du Jura | — | Überchiebungstricht des Juras |
| □ | Champ de recherche et de production de pétrole | □ | Erdölgewinnungs- und Untersuchungsfelder |

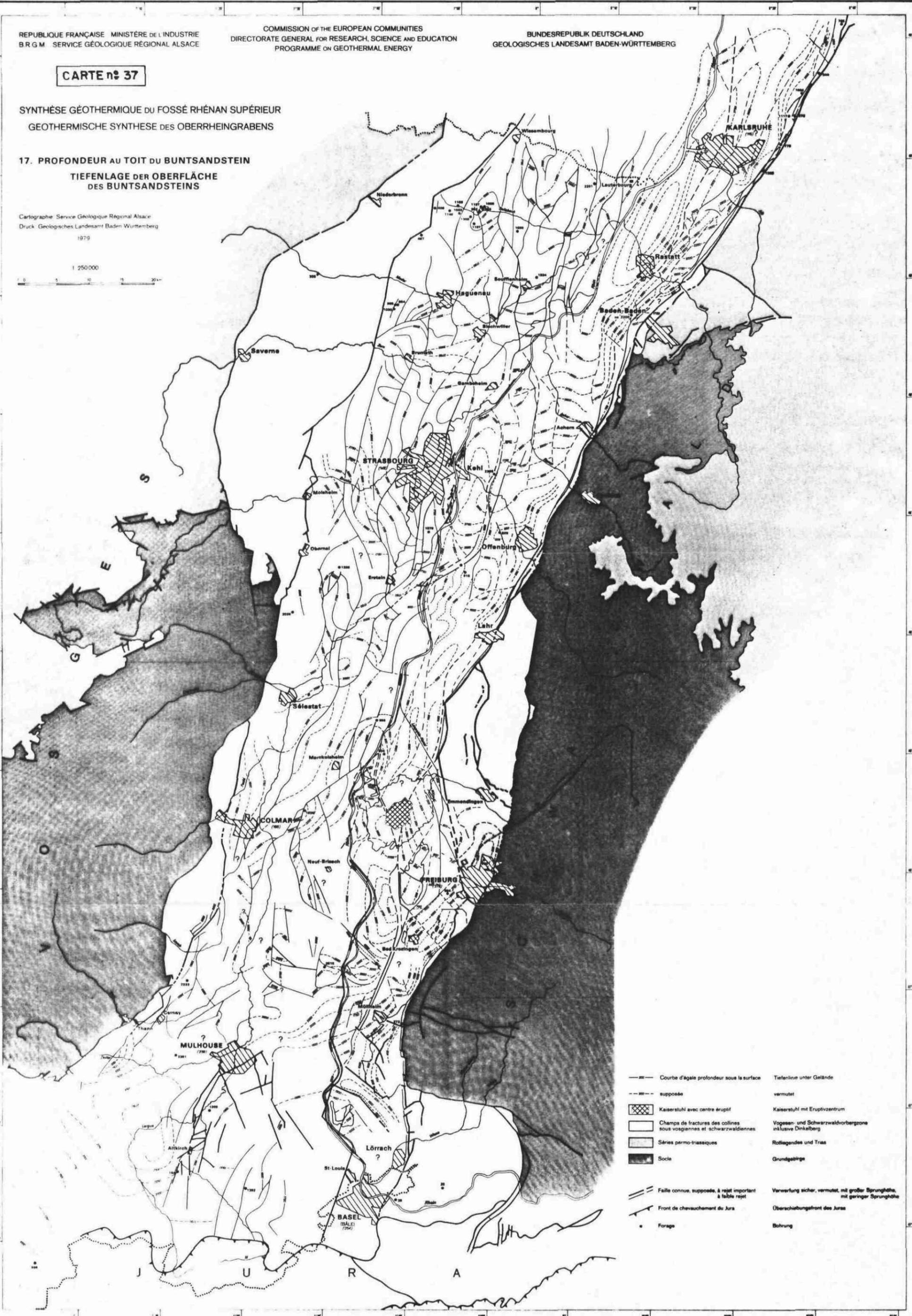
CARTE n° 37

SYNTHÈSE GÉOTHERMIQUE DU FOSSÉ RHÉNAN SUPÉRIEUR
GEOTHERMISCHE SYNTHESE DES OBERRHEINGRABENS

17. PROFONDEUR AU TOIT DU BUNTSANDSTEIN
TIEFENLAGE DER OBERFLÄCHE
DES BUNTSANDSTEINS

Cartographe: Service Géologique Régional Alsace
Druck: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
1979

1:250 000

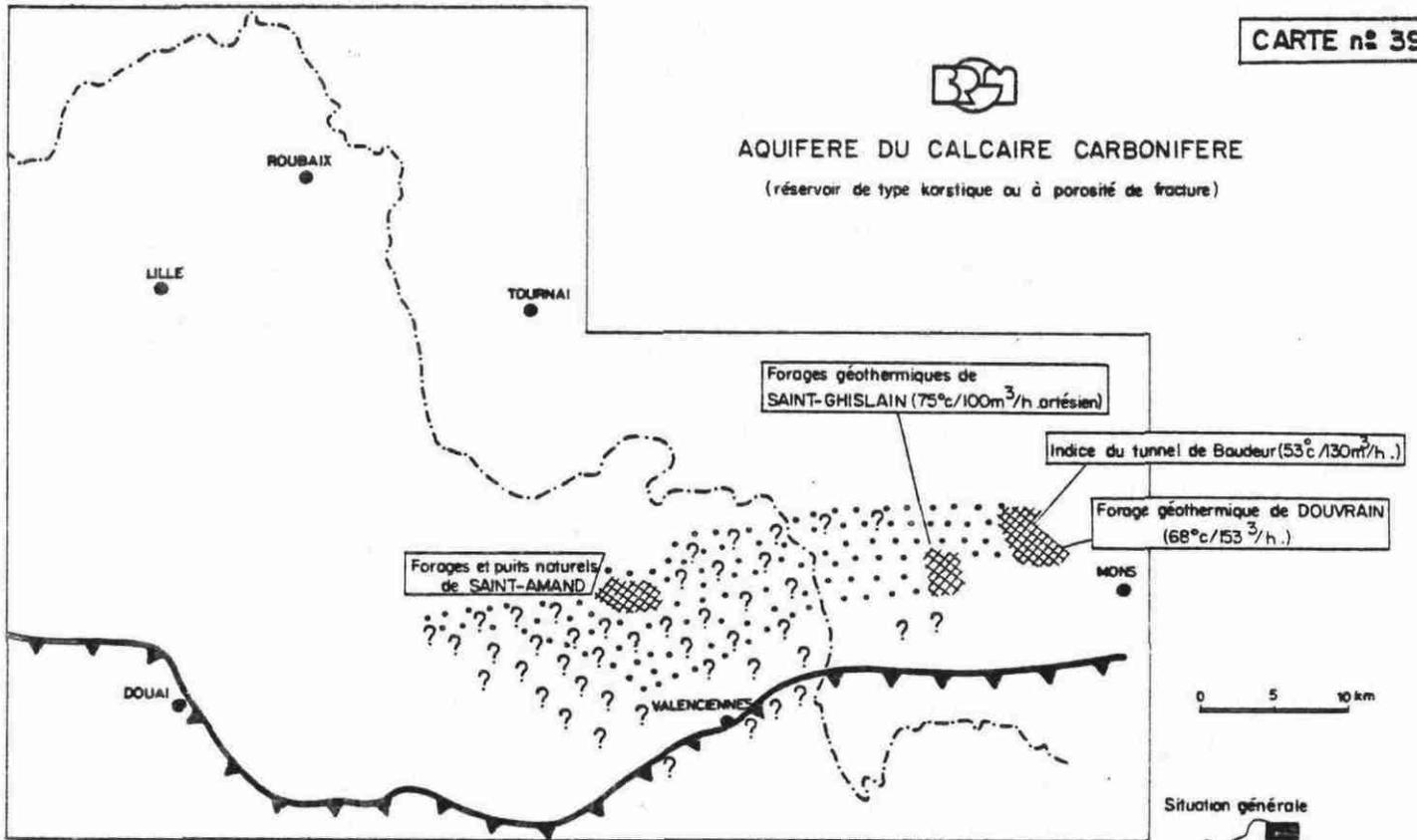


- | | | |
|-----------|--|---|
| — — — | Courbe d'égale profondeur sous la surface | Tiefenlinie unter Gelände |
| - - - - | supposée | vermutet |
| ⊗ | Kaiserstuhl avec centre éruptif | Kaiserstuhl mit Eruptivzentrum |
| □ | Champs de fractures des collines sous vosgiennes et schwarzwaldiennes inclusive Dinkelberg | Vogesen- und Schwarzwaldvorbergzone inklusive Dinkelberg |
| ▨ | Séries permotriassiques | Rotliegendes und Trias |
| ■ | Socle | Grundgebirge |
| — — — — — | Faïte connue, supposée, à rejet important à faible rejet | Verwerfung sicher, vermutet, mit großer Sprunghöhe, mit geringer Sprunghöhe |
| — — — — — | Front de chevauchement du Jura | Überschiebungsfrent des Juras |
| • | Forage | Bohrung |



AQUIFERE DU CALCAIRE CARBONIFERE

(réservoir de type karstique ou à porosité de fracture)



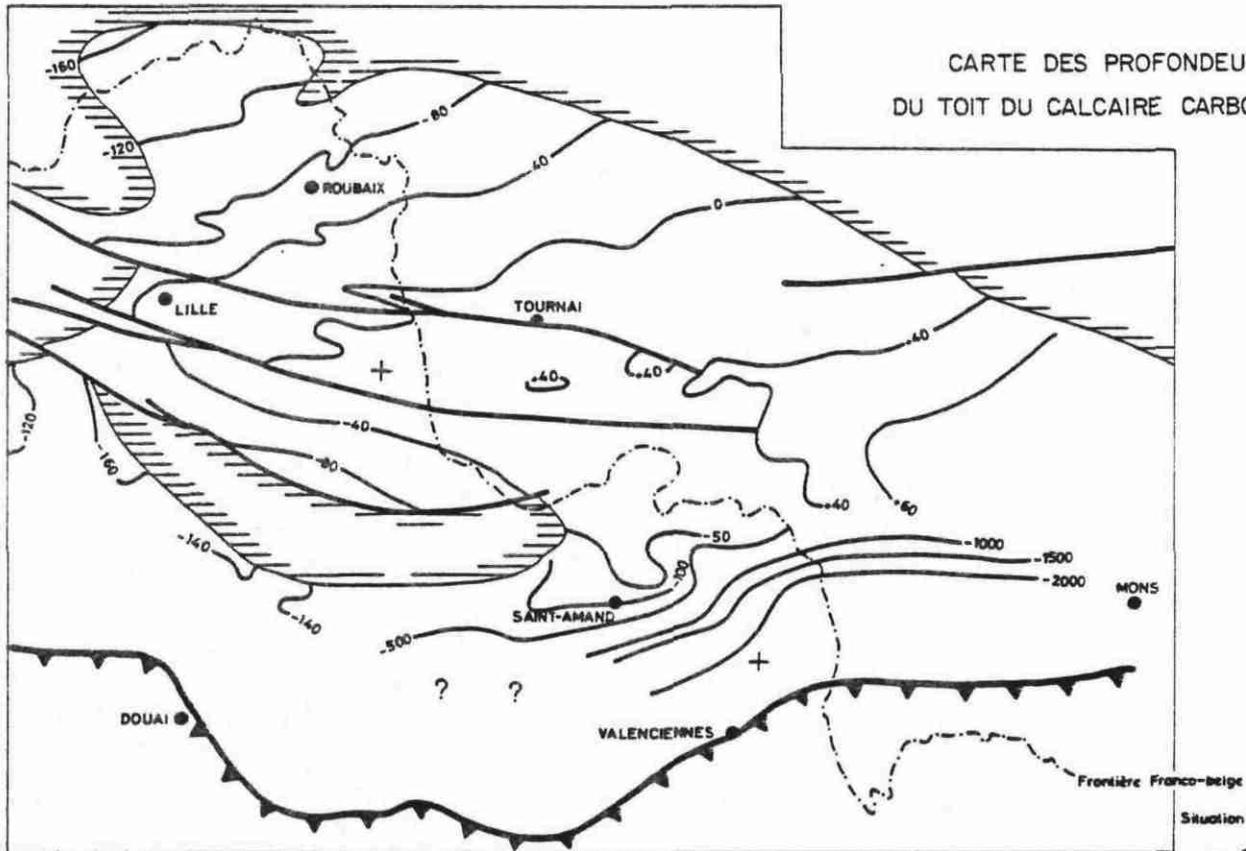
Connaissance de ressource

- Faille du midi
- Zone inconnue
- Zone où la profondeur du réservoir a pu être estimée
- Zone où des productions importantes d'eau chaude ont été observées

Situation générale



CARTE DES PROFONDEURS DU TOIT DU CALCAIRE CARBONIFERE



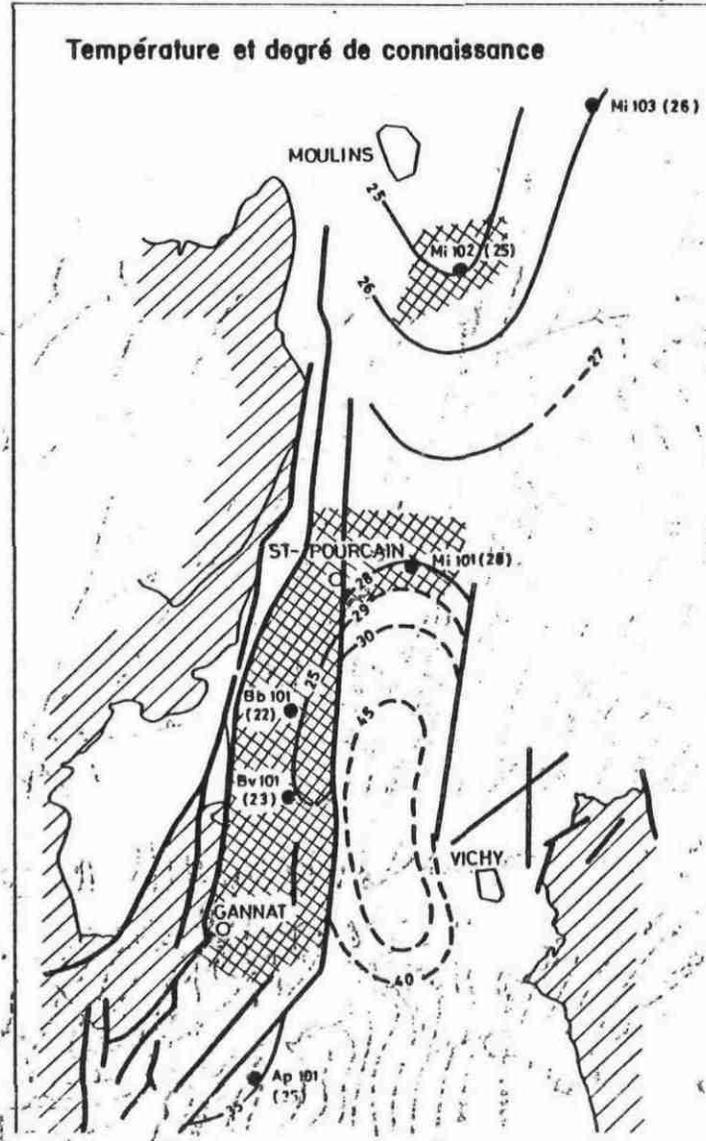
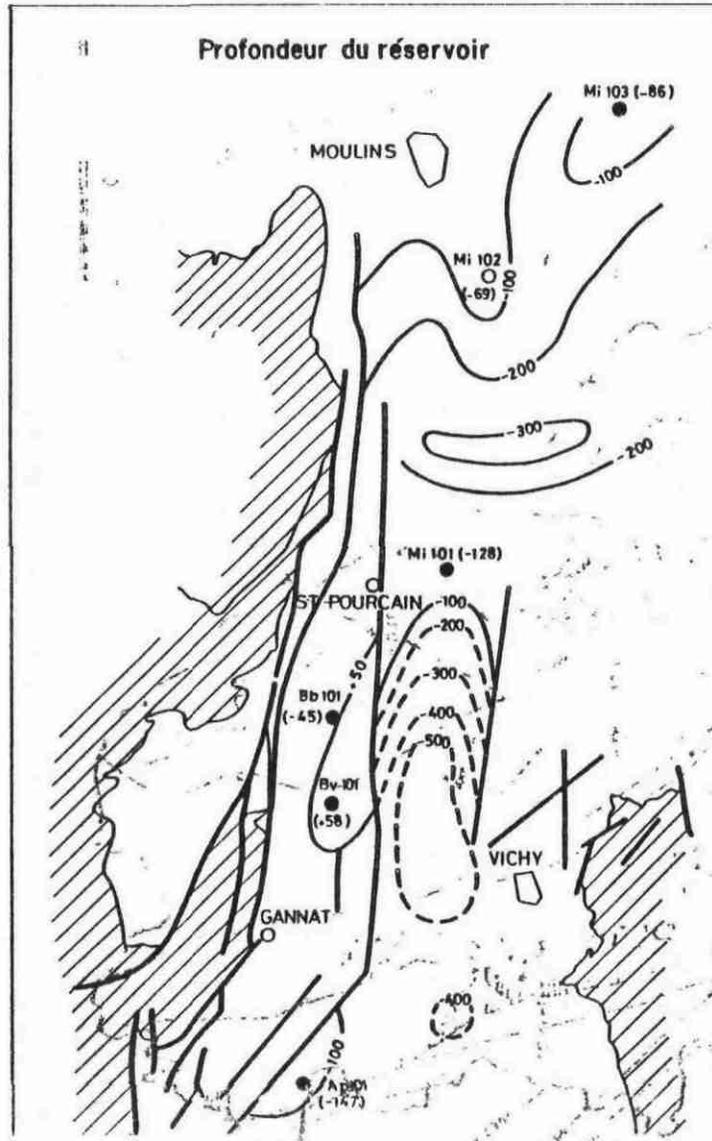
- Limite de calcaire
- Faille du midi
- Faille
- Isohypse du toit du calcaire carbonifère

Situation générale



AQUIFERE DU STAMPIEN INFERIEUR dans le département de l'ALLIER

Réservoir à porosité de matrice



Qualité de la ressource

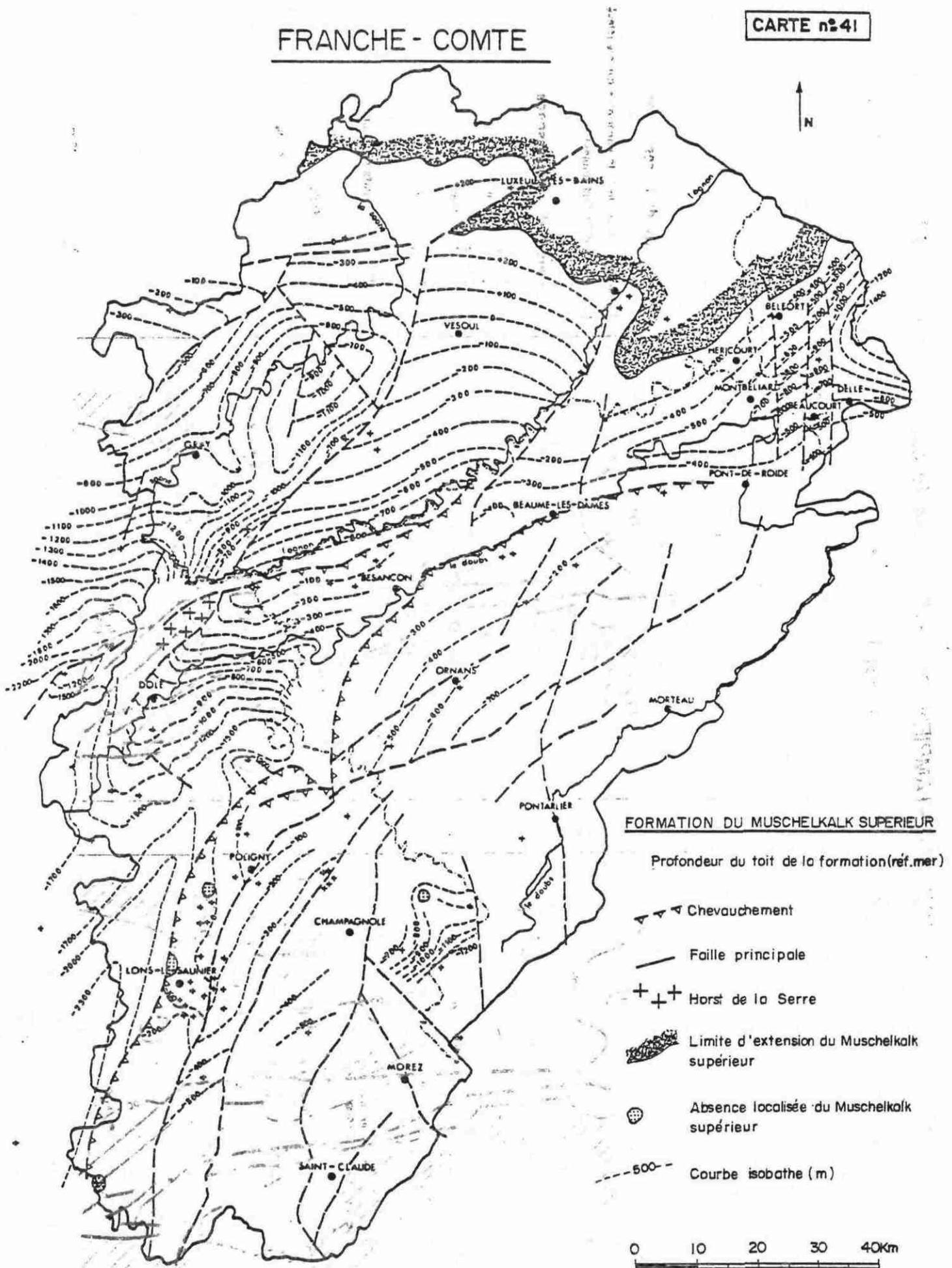
Aucun indice de productivité importante n'a été relevé
(les perméabilités sont faibles)

Degré de connaissance

-  Bon
-  Moyen
-  Faible
-  Massifs cristallins
-  Faille
-  Forage pétrolier

0 5 10 km

DE VICHY - COGNAC



FORMATION DU MUSCHELKALK SUPERIEUR

Profondeur du toit de la formation (réf. mer)

▲▲ Chevauchement

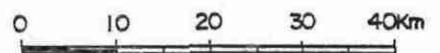
— Faille principale

+ + Horst de la Serre

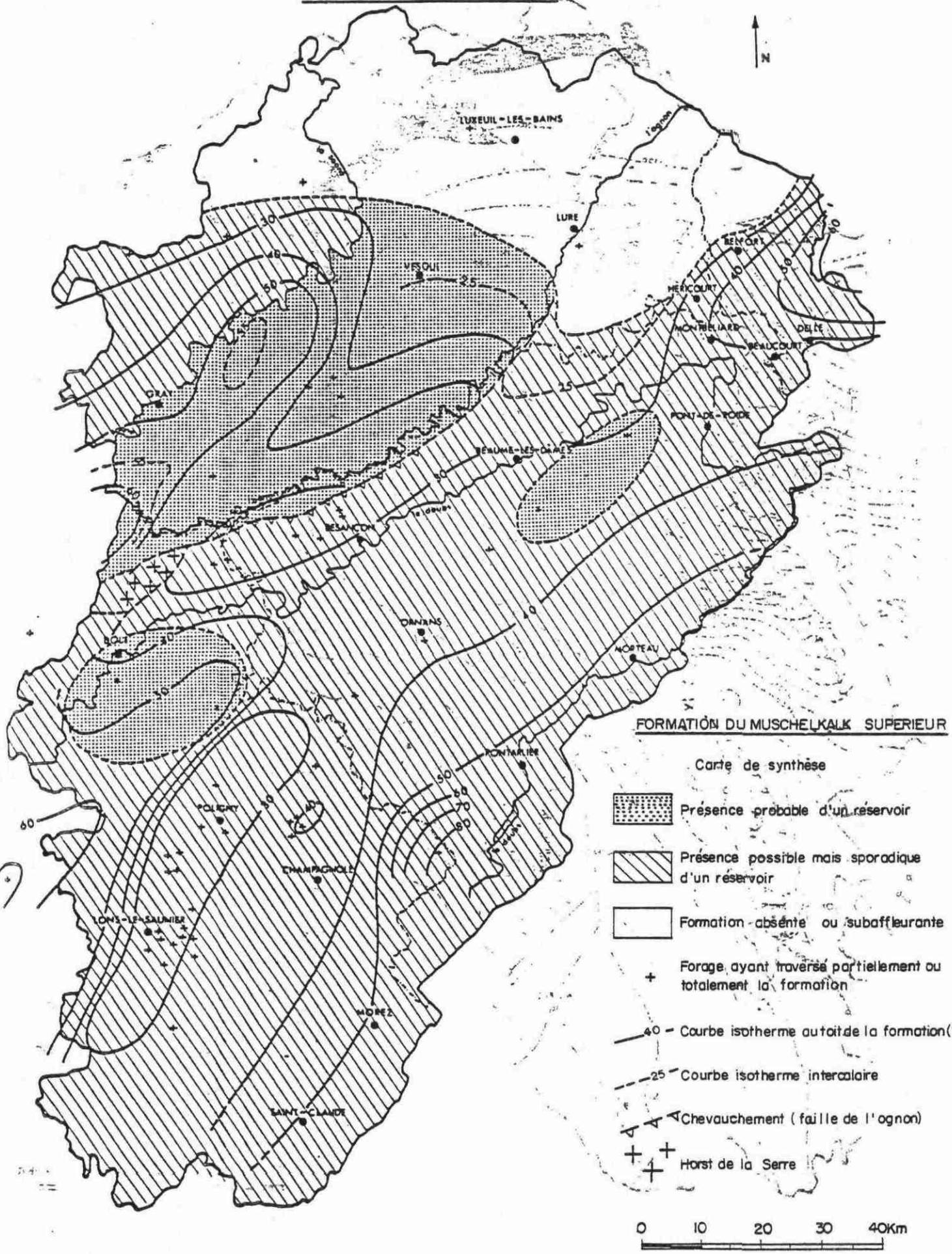
▨ Limite d'extension du Muschelkalk supérieur

⊙ Absence localisée du Muschelkalk supérieur

- - - 500 - Courbe isobathe (m)



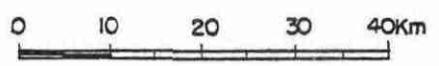
FRANCHE-COMTE

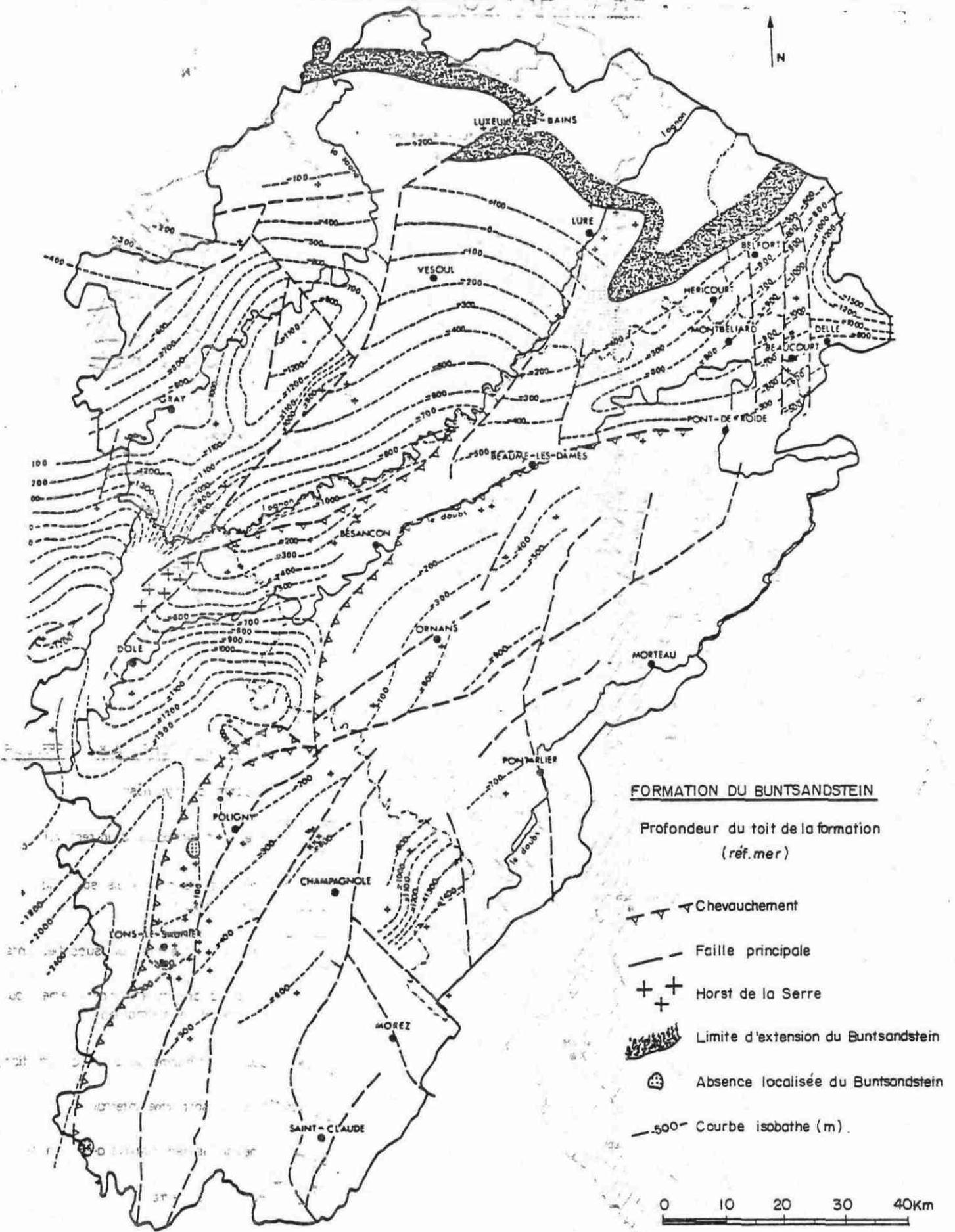


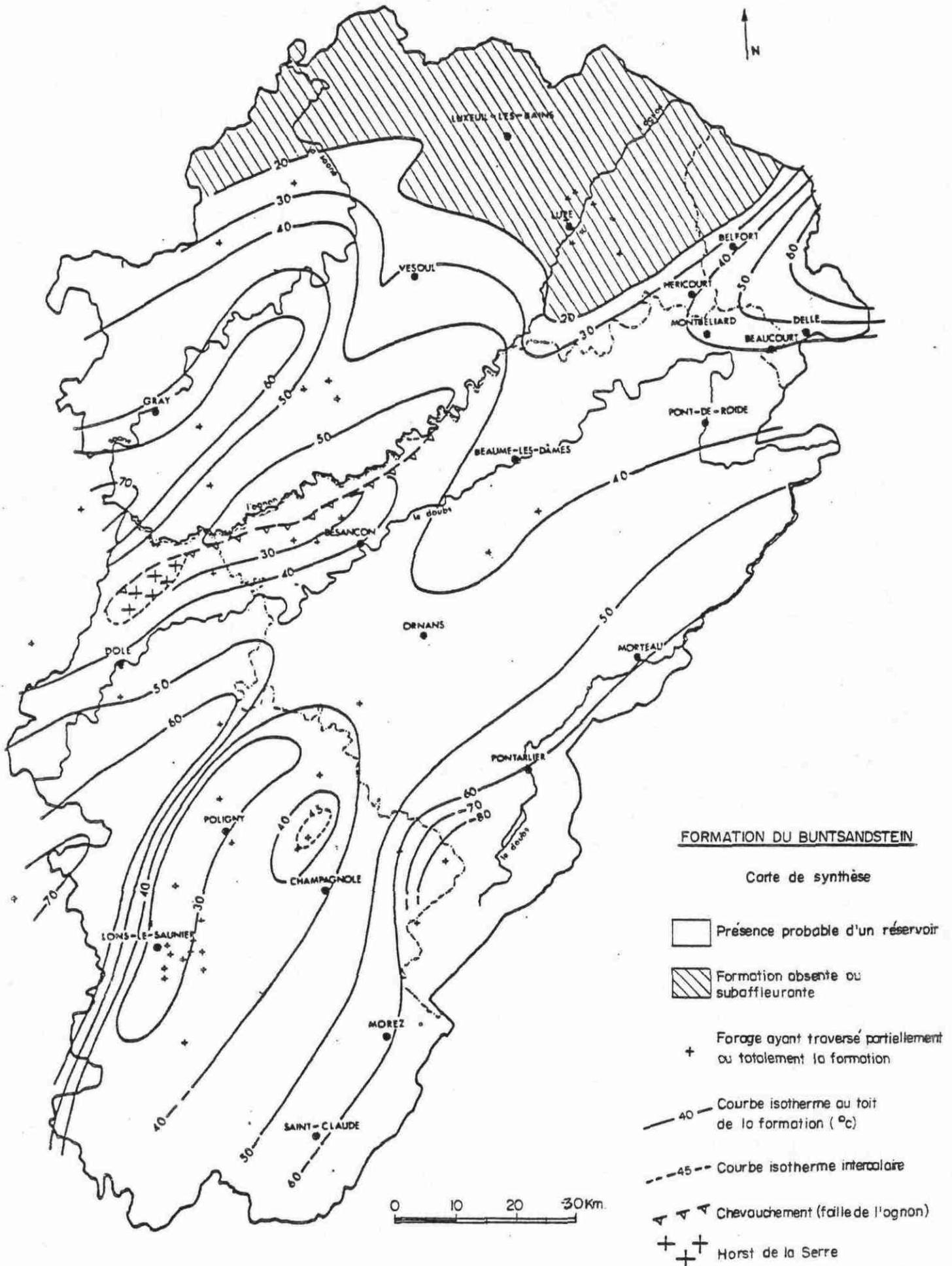
FORMATION DU MUSCHELKALK SUPERIEUR

Carte de synthèse

-  Présence probable d'un réservoir
-  Présence possible mais sporadique d'un réservoir
-  Formation absente ou subaffleurante
-  Forage ayant traversé partiellement ou totalement la formation
-  40 - Courbe isotherme au toit de la formation (°C)
-  25 - Courbe isotherme intercalaire
-  Chevauchement (faille de l'ognon)
-  Horst de la Serre







A N N E X E 2

EVALUATION DE LA CONTRIBUTION ENERGETIQUE
DE LA GEOTHERMIE EN 2000 PAR LA METHODE IEJE

TABLE DES MATIERES

	Pages
I - <u>EVALUATION DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE EN 2000 D'APRES LES TRAVAUX DE L'IEJE</u>	1
I.1. Introduction	1
I.2. Détermination du parc de logements du secteur résidentiel en 2000 par tranche de villes de plus de 20 000 habitants et par ZEATMOD	5
I.3. Besoins de chaleur par ville dans les secteurs résidentiels et tertiaires	12
I.4. Une évaluation des potentiels de pénétration des sources de chaleur de réseaux par ville et région ZEATMOD	20
II - <u>SENSIBILITE DES RESULTATS AUX VARIATIONS DES HYPOTHESES</u>	24
II.1 Ajustement des hypothèses géologiques	24
II.2 Modification de l'arbitrage entre les sources de chaleur	24
II.3 Prise en compte de la densité des forages géothermiques	28
II.4 Prise en compte des communes de moins de 20 000 habitants	30

La DATAR a confié en 1977 à l'Institut économique et juridique de l'énergie (IEJE, Grenoble), la réalisation d'une étude Energie et Régions*, qui, parmi de nombreux autres résultats, propose une évaluation régionalisée du potentiel de développement des réseaux de chaleur à l'horizon 2000, alimentés entre autres par géothermie.

Il a donc paru très intéressant d'examiner dans quelle mesure ce travail pouvait contribuer à cerner le potentiel géothermique français. Pour cela, après une étude approfondie du travail de l'IEJE, une réunion de travail a été organisée pour expliciter les hypothèses retenues dans l'étude, et pour apprécier l'intérêt de calculs nouveaux, à partir d'hypothèses modifiées. Pour permettre ce travail, l'IEJE nous a apporté un précieux concours et a rédigé une note détaillée "évaluation du potentiel de développement des réseaux de chaleur en France, par ville et par ZEAT, à l'horizon 2000" (J.P. BONAÏTI, B. BOURGEOIS et J. GIROD, Grenoble, février 1982).

Nous reprenons donc, ci-après, dans une première partie, les résultats du travail de l'IEJE relatifs aux réseaux et surtout à la géothermie, en faisant de très larges emprunts à la note citée ci-dessus.

Dans une seconde partie, nous présentons les résultats obtenus en reprenant les données et la méthode de l'IEJE, et en modifiant les hypothèses de calcul, notamment celle relative à l'arbitrage entre les sources d'alimentation en chaleur des réseaux, qui pénalise la géothermie.

I - EVALUATION DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE EN 2000 D'APRES LES TRAVAUX DE L'IEJE

I.1. Introduction

a) Contexte de l'étude

Cette évaluation d'une pénétration possible des réseaux de chaleur se situe dans le contexte d'une étude plus large, et donc, le choix des catégories utilisées dépend de celui retenu dans le document "Energie et Régions - production et consommation / production et consommation perspectives 1985-2000".

Les données suivantes s'imposent au cadre général du document sur les réseaux de chaleur :

- cadre temporel : année de départ, celle du dernier recensement 1975

année finale : 2000

- cadre géographique : le découpage régional retenu est celui des Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire (ZEAT) légèrement modifiées puisque le nombre retenu est de 9.

* Energie et Régions, variantes régionalisées de demande et d'offre d'énergie en France (1985-2000) ; publié par la Documentation française, Travaux et recherches de prospectives, 1980.

Le schéma 1 ci-dessous explicite la composition précise de ces Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire modifiées, dénommées par la suite ZEATMOD. Elles sont toutes des multiples entiers des Régions de Programme, à l'exception de la ZEATMOD Ile de France, la ZEATMOD Nord et la ZEATMOD Rhône-Alpes qui correspondent exactement aux régions de programme Ile de France, Nord et Rhône-Alpes.

La méthode de prévision suit également celle retenue dans l'étude Energie et régions ; les prévisions de demande énergétiques sont obtenues à l'aide du modèle de simulation MEDEE version 2 régionalisée, auquel sont appliqués trois scénarios économiques et énergétiques contrastés.

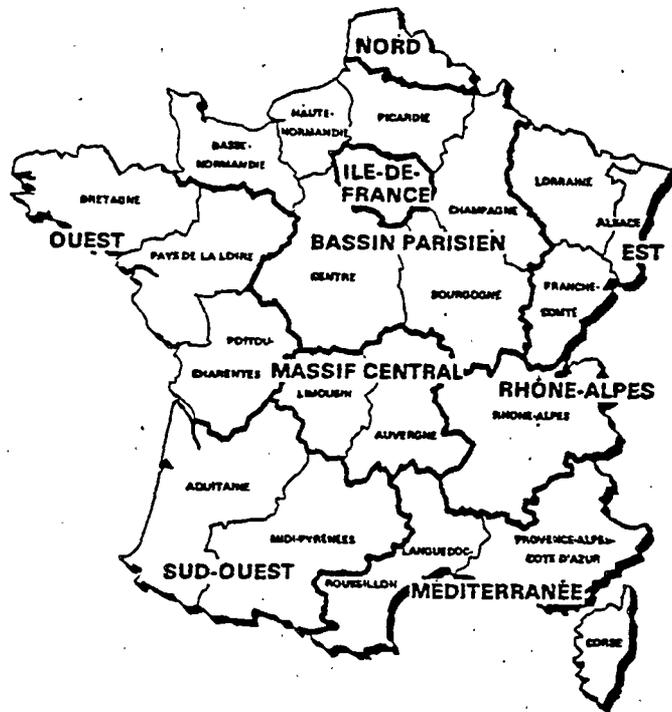


Schéma 1 - Découpage géographique
retenu dans l'étude

Le schéma 2 suivant rappelle la structure générale et le couplage de ce modèle de simulation avec les scénarios.

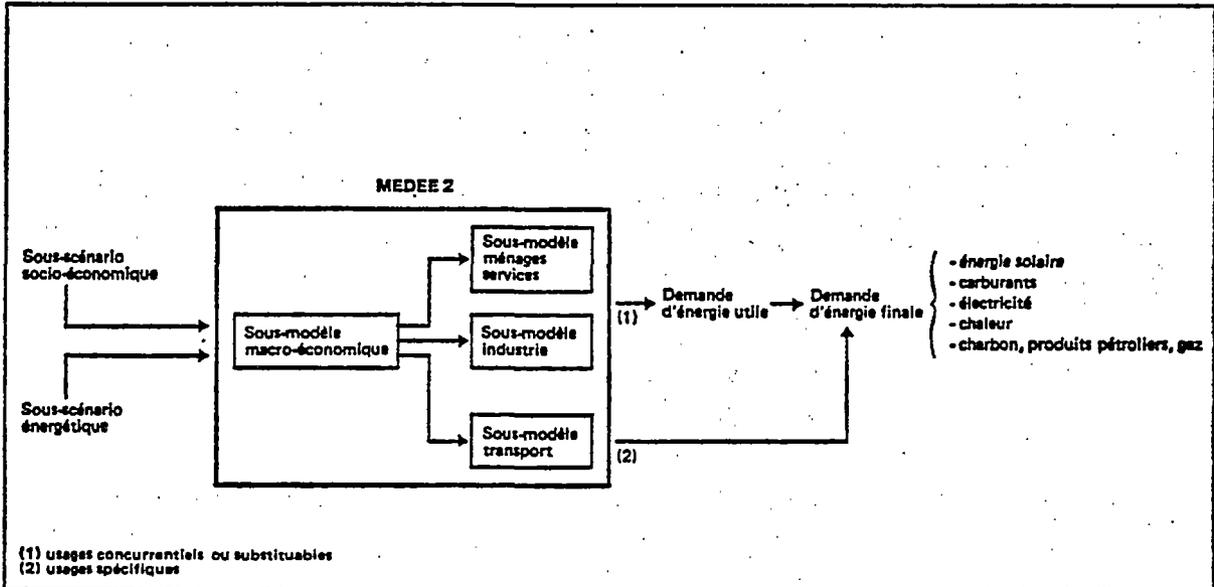


Schéma 2 - Structure générale et entrées - sorties de Médee

Les réseaux urbains de chaleur dépendent du sous-modèle 'ménages services'; du fait que nous privilégions une approche en termes de besoins et non en termes de consommation, nous commençons par évaluer la demande en énergie utile avant de passer à l'évaluation de la demande en énergie finale, au moyen de rendements variables selon les formes d'énergie.

Par ailleurs, dans un souci de simplification, on ne présente que les résultats correspondant au scénario III* intitulé "Scénario de nouvelle croissance" dont on ne rappelle ici que les principales orientations :

- .. autonomie de la France à l'égard des principaux blocs économiques et politiques du monde occidental. Elle devient ainsi un partenaire privilégié des pays du Tiers-Monde surtout du Bassin Méditerranéen.

* ces trois scénarios sont issus des travaux de P. BARRET, F. BAAS, J.F. LANGUMIER, M. LAPERROUSAZ, J.L. MURON, J. PIONA, A. VALEYRE publiés dans Futuribles Scénarios pour l'avenir, Paris 1978, "l'emploi ou l'obsession du futur".

- . repli de l'appareil productif sur le territoire national et recherche de l'autonomie du développement économique ; priorité est donnée aux politiques sociales sur les politiques économiques : plein emploi, amélioration des conditions de travail, promotion des services sociaux...
- . aménagement du territoire : "l'image de la répartition spatiale de l'emploi en 2000 est très proche de celle des années 1950 bien que son contenu soit très différent. La population de l'Ouest et du Sud-Ouest est légèrement rééquilibrée au détriment de la Région Parisienne et du Bassin Parisien. La situation dans les régions, tant en ce qui concerne la population que l'emploi, a tendance à s'homogénéiser".

Dans le secteur énergétique, le scénario III conduit :

- au niveau de la demande énergétique à limiter dans les usages à basse intensité, les formes d'énergie "noble" au profit des vecteurs énergétiques renouvelables et à basse température, ou des vecteurs -tels les réseaux de chaleur- permettant le recyclage énergétique et économique ;
- au niveau des approvisionnements énergétiques, à une planification contraignante et à une responsabilité accrue des collectivités locales pour la valorisation des énergies locales.

Tant du côté des tendances supposées concernant la demande d'énergie, que celles concernant l'offre d'énergie, les hypothèses retenues tendent à maximiser l'utilisation des ressources et vecteurs locaux d'énergie, donc les réseaux de chaleur dans ce scénario III.

b) Les fondements de la démarche suivie

On a fait dépendre, dans le cadre général des hypothèses du scénario rappelées ci-dessus, le niveau de développement des réseaux de chaleur de deux grandeurs :

- la densité de consommation de chaleur basse température par unité de surface,
- la taille des villes : elle détermine pour partie les besoins de chaleur et il existe des seuils en-dessous desquels un réseau de chaleur ne peut plus se justifier.

Ces deux grandeurs sont déterminées, ville par ville, par les caractéristiques du parc de logements, leur répartition dans l'espace et les données climatiques. Néanmoins, une simulation de l'évolution ville par ville du parc de logement s'avérant hors de portée pratique, il a été procédé à une simulation moyenne des parcs urbains selon un double regroupement :

- par ZEATMOD pour tenir compte des différences climatiques

- par tranches de villes réparties selon leur taille, au sein de chaque ZEATMOD.

Ce dernier regroupement paraît néanmoins assez désagrégé pour discriminer, selon certains seuils, les données suivantes :

- les villes suffisamment importantes pour justifier la présence de réseaux de chauffage urbain,
- les différences de densité d'occupation du sol qui varient en moyenne avec la taille des villes,
- les différences de proportion logements individuels/logements collectifs qui varient en particulier avec la taille des villes ; du fait que les consommations unitaires des logements individuels sont nettement plus élevées que celles des logements collectifs, il est important de tenir compte de cette particularité dans le calcul des consommations de chaleur.

Il était donc nécessaire pour chaque région de procéder à un calcul pour chaque tranche de ville et donc par type de logement (individuel et collectif). Quant au problème de détermination d'un seuil minimum en dessous duquel il était très improbable qu'un réseau de chaleur puisse s'implanter, on a considéré par hypothèse que ce seuil se situait en moyenne autour de 20 000 habitants (population 1975 de la commune). A ce premier type de demande de chaleur basse température, correspondant au chauffage des logements du résidentiel, s'ajoute celui de l'eau chaude sanitaire pour le même secteur résidentiel, ainsi que celui du chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire pour le tertiaire.

Dans ces derniers domaines, le manque de statistiques contraint à des choix très simplificateurs.

I.2. Détermination du parc de logements du secteur résidentiel en 2000 par tranche de villes de plus de 20 000 habitants et par ZEATMOD

Le parc de logements du secteur résidentiel en 2000 a été construit en distinguant 5 types de logements et 5 tranches de villes.

Les cinq types de logement distingués dans le modèle MEDEE 2 régionalisé sont les suivants :

- 1 - PREDW (1) maisons individuelles avec chauffage central du parc 1975 existantes à l'année 2000.
- 2 - PREDW (2) logements collectifs avec chauffage central du parc 1975 existants à l'année 2000.
- 3 - PREDW (3) maisons individuelles ou logements collectifs avec chauffage divisé ou sans chauffage du parc 1975 existantes à l'année 2000.

4 - NEWDW (1) maisons individuelles avec chauffage central construites après 1975 existantes à l'année 2000.

5 - NEWDW (2) logements collectifs avec chauffage central construits après 1975 et existants à l'année 2000.

Pour mémoire 6 - NEWDW (3) logements collectifs ou maisons individuelles avec chauffage divisé ou sans chauffage construits après 1975 et existants à l'année 2000.
Cette 6ème catégorie a été supposée égale à 0 en l'an 2000.

Trois remarques précisent le contenu de ces catégories :

a) les logements collectifs ayant un chauffage central comprennent les logements collectifs avec chauffage central individuel et les logements collectifs avec chauffage central collectif ; la distinction n'est pas faite entre ces deux types de chauffage central alors que pour des exploitants de réseaux de chauffage, la distinction est au contraire capitale : il s'agit donc d'une limite supplémentaire à cette étude, surtout quand on sait que, dans le parc des chauffages centraux, la part de chauffage central individuel (gaz et électricité) en immeuble collectif est passée de 13.1 % en 1973 à 17.4 % en 1980.

b) dans la catégorie PREDW (3), c'est-à-dire avec chauffage divisé ou sans chauffage, on trouve en 1975 des maisons individuelles et des logements collectifs. On a supposé par la suite qu'en 2000, il n'y aurait plus aucun logement collectif n'ayant pas de chauffage central ; en conséquence la catégorie PREDW (3) ne concerne en 2000 que des maisons individuelles.

c) les seuls logements pris en compte sont les résidences principales.

Les cinq tranches communales sont les suivantes :

1 - communes rurales (moins de 2 000 habitants)

2 - communes urbaines de 2 000 à 20 000 habitants

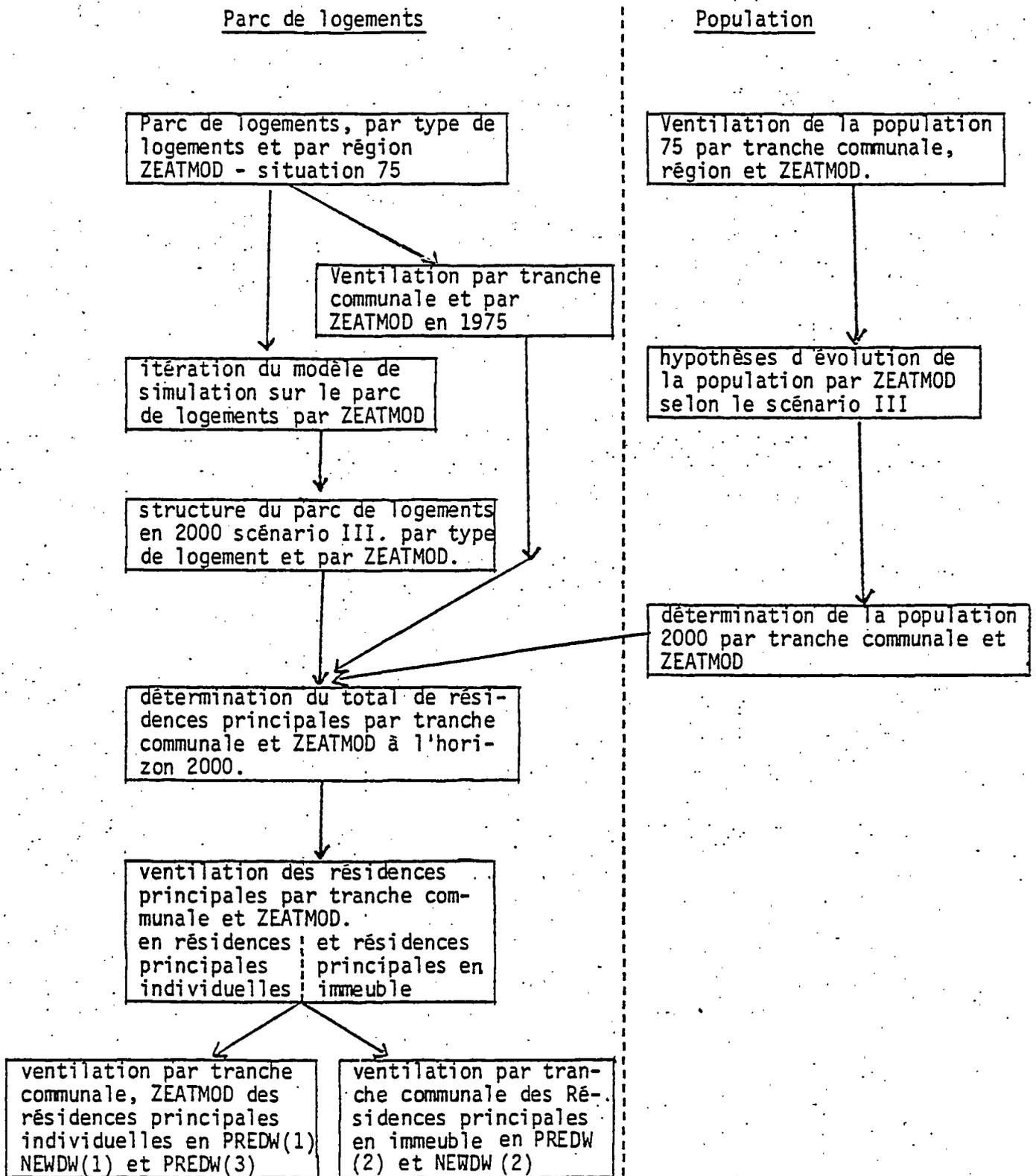
3 - communes urbaines de 20 à 50 000 habitants

4 - communes urbaines 50 à 100 000 habitants

5 - communes urbaines de plus de 100 000 habitants.

La méthode de construction du parc est schématisée dans l'organigramme du schéma 3.

Schéma 3 - Organigramme du modèle de construction du parc de logements



La détermination du nombre total de résidences principales par tranche communale et ZEATMOD en 2000 repose sur des hypothèses relatives à la croissance démographique et au taux d'occupation des logements. Il a aussi été admis que la population de 2000 de chaque ZEATMOD se ventilait selon la même structure de répartition en tranches de communes qu'en 1975.

A partir de ce résultat, il est procédé à la ventilation en 2000 du parc des résidences principales de chaque ZEATMOD selon les tranches de villes et les deux types de résidences principales, individuelles ou collectives (tableau 1).

On dispose des valeurs des catégories élémentaires de chacun de ces deux types de résidences, à condition de supposer que la catégorie PREDW (3) (résidences principales construites avant 1975 sans chauffage central) ne sera composée en 2000 que de résidences principales individuelles. Par hypothèse, le chauffage divisé par pièce aura donc disparu de l'habitat collectif en 2000.

Le nombre de résidences principales individuelles est la somme des trois catégories : PREDW (1) + NEWDW (1) + PREDW (3) et le nombre de résidences principales en collectif est la somme de PREDW (2) et NEWDW (2).

Connaissant par ailleurs l'importance du parc de logements par tranches de villes, on dispose pour chaque ZEATMOD d'un système de 10 inconnues avec 7 relations dont 6 indépendantes.

Tranches	Communes rurales	2 à 20 000	20 à 50 000	50 à 100 000	>100 000	TOTAL
R.P. individuelles	x 11	x 12	x 13	x 14	x 15	X 1i
R.P. collectives	x 21	x 22	x 23	x 24	x 25	X 2i
TOTAL	X i1	X i2	X i3	X i4	X i5	

Il reste donc à faire quatre hypothèses supplémentaires pour déterminer les inconnues :

hypothèse 1 : on suppose $\frac{x 11}{x 21}$ constant de 1975 à 2000 : constance de répartition individuel-collectif dans les communes rurales.

hypothèse 2 et 3 : x 14 et x 15 ne varient pas non plus de 1975 à 2000 : pas de construction neuve dans l'individuel pour ces tranches.

hypothèse 4 : $\frac{x 23}{x i3} = 2 \times \frac{x 22}{x i2}$: la part du collectif est deux fois plus importante dans la tranche 20 à 50 000 que dans la précédente.

Tableau 1 : Parc 2000 de résidences principales individuelles et de résidences principales en immeuble, par tranche communale et ZEATMOD.

nombre de R.P. indivi. en 1000
nombre de R.P. en immeuble en 1000

Légende :

	Communes rurales	Communes 2 000 - 20 000 hab.	Communes 20 000 - 50 000 hab.	Communes 50 000-100 000 hab.	Communes 100 000 hab.	Total ZEATMOD
REGION PARISIENNE	12 / 135	494 / 397	1 165 / 174	563 / 173	969 / 110	3 194 / 990
BASSIN PARISIEN	37 / 1 399	686 / 513	337 / 89	108 / 81	298 / 154	1 466 / 2 235
NORD	1 / 187	316 / 419	243 / 54	25 / 33	48 / 95	633 / 788
EST	10 / 530	446 / 361	97 / 63	32 / 12	213 / 53	798 / 1 019
OUEST	21 / 1 221	292 / 427	86 / 98	120 / 106	266 / 116	785 / 1 968
SUD-OUEST	22 / 744	291 / 290	212 / 46	59 / 36	145 / 98	729 / 1 214
MASSIF CENTRAL	18 / 370	159 / 75	43 / 12	21 / 23	88 / 37	329 / 516
RHONE-ALPES	50 / 390	318 / 322	225 / 79	94 / 25	346 / 41	1 033 / 856
MEDITERRANEE	41 / 340	237 / 343	153 / 127	88 / 73	629 / 173	1 148 / 1 059
TOTAL	212 / 6 850	3 239 / 3 147	2 561 / 742	1 110 / 562	3 002 / 877	15 408 / 10 645

Il s'agit ensuite de ventiler pour chaque ZEATMOD les résidences principales individuelles, par tranches de ville et selon les trois catégories suivantes (tableau 2) :

- PREDW (1)
- PREDW (3)
- NEWDW (1)

Pour ce faire, on dispose d'ores et déjà pour chaque ZEATMOD de huit relations (dont sept indépendantes) pour quinze inconnues (3 X 5), en l'occurrence le nombre des résidences individuelles pour chaque tranche (5) et le nombre de résidences individuelles de chaque catégorie (3), ou encore les sommes en lignes et colonnes du système suivant :

Catégories \ Tranches	communes rurales	2 à 20 000	20 à 50 000	50 à 100 000	>100 000	TOTAL
PRE (1)	x 11	x 12	x 13	x 14	x 15	X1i
PRE (3)	x 21	x 22	x 23	x 24	x 25	X2i
NEW (1)	x 31	x 32	x 33	x 34	x 35	X3i
TOTAL	Xi1	Xi2	Xi3	Xi4	Xi5	

Pour résoudre le système, on adopte par ailleurs dix hypothèses dont huit indépendantes.

Hypothèses 1 et 2 : on suppose $x_{34} = x_{35} = 0$

ce qui revient à admettre qu'il n'y aura pas de construction neuve en maisons individuelles dans les villes de plus de 50 000 habitants.

Hypothèses 3 à 7 : on suppose $\frac{x_{1i}}{x_{2i}} = \frac{X_{1i}}{X_{2i}} = c^{te}$, soit 5 hypothèses dont 4 indépendantes ; c'est-à-dire que la part des maisons individuelles construites avant 1975 sans chauffage central est indépendante de la taille des villes.

Hypothèses 8 à 10 : on suppose également $\frac{x_{1i} + x_{2i}}{x_{3i}} = c^{te}$ pour $i = 1$ à 5 soit 3 hypothèses dont 2 indépendantes. Les résultats du calcul sont reproduits dans le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition des résidences individuelles en 2000

PRED(1)

PRED(3)

NEW(1)

Légende

R.P. ind	PRE(1)
NEW(1)	PRE(3)

Nombre de résidences principales indiv. (en milliers)	Communes rurales		Communes 2 000 - 20 000		Communes 20 000 - 50 000		Communes 50 000-100 000		Communes 100 000		Total	
REGION PARISIENNE	135	34	397	100	174	44	173	104	110	66	990	348
	78	23	230	67	101	29	0	69	0	44	410	232
BASSIN PARISIEN	1 399	569	513	208	89	36	81	62	154	118	2 235	996
	659	171	242	63	42	11	10	19	0	36	941	299
NORD	187	63	419	143	54	19	33	22	95	63	788	310
	92	32	205	71	26	9	0	11	0	32	324	155
EST	530	192	361	130	63	22	12	8	53	37	1 019	391
	257	81	175	56	31	10	0	4	0	16	462	166
OUEST	1 221	433	427	152	98	35	106	84	116	92	1 968	797
	676	112	236	39	54	9	0	22	0	24	965	206
SUD-OUEST	744	252	290	98	45	16	36	27	98	72	1 214	465
	403	89	157	35	25	5	0	9	0	26	585	165
MASSIF CENTRAL	370	126	75	25	12	4	23	17	37	27	516	199
	196	48	40	10	6	2	0	6	0	10	242	75
RHONE-ALPES	390	150	322	125	79	31	25	17	41	29	856	352
	175	65	144	53	35	13	0	8	0	12	353	151
MEDITERRANEE	340	114	343	116	127	43	73	51	173	121	1 059	444
	177	49	178	49	66	18	10	22	0	52	421	190
TOTAL		1 933		1 097		250		392		625		4 297
	2 713	670	1 607	443	386	106	0	170	0	252	4 706	1 641

Il s'agit enfin de ventiler pour chaque ZEATMOD les résidences principales collectives par tranches de villes (5) et selon les deux catégories PREDW (2) et NEWDW (2).

On dispose d'ores et déjà pour chaque ZEATMOD de sept relations (dont six indépendantes) pour dix inconnues (2 x 5), en l'occurrence le nombre de résidences collectives pour chaque tranche (5) et le nombre de résidences collectives de chaque catégorie (2), ou encore les sommes en ligne et colonnes du système suivant :

tranches catégories	Communes rurales	2 à 20 000	20 à 50 000	50 à 100 000	> 100 000	TOTAL
PREDW (2)	x 11	x 12	x 13	x 14	x 15	X1i
NEWDW (2)	x 21	x 22	x 23	x 24	x 25	X2i
TOTAL	Xi1	Xi2	Xi3	Xi4	Xi5	

Pour résoudre le système on adopte par ailleurs 5 hypothèses dont 4 indépendantes.

Hypothèse 1 : $x_{11} = x_{21}$ le parc de collectif dans les communes rurales est réparti pour moitié entre logements antérieurs et postérieurs à 1975.

Hypothèse 2 à 5 : $\frac{x_{1i}}{x_{2i}} = c^{te}$ pour $i = 2$ à 5. Le parc de collectif dans les communes urbaines se répartit uniformément entre logements antérieurs et postérieurs à 1975.

Les résultats du calcul sont produits dans le tableau n° 3.

I.3. Besoins de chaleur par ville dans les secteurs résidentiels et tertiaires

On dispose, sur la base des hypothèses précédentes, d'une projection en 2000 de la structure du parc de logements selon cinq types de résidences principales pour chacune des cinq tranches de villes et dans chacune des neuf ZEATMOD.

TABLEAU 3 : Résidences principales collectives par tranches de communes en 2000

Unité : 1 logement

		Communes rurales ⁽¹⁾	Communes 2 000 - 20 000 ⁽²⁾	Communes 20 000 - 50 000 ⁽³⁾	Communes 50 000-100 000 ⁽⁴⁾	Communes 100 000 ⁽⁵⁾	Total
REGION PARISIENNE	x pré	5 500	265 541	635 214	306 975	528 345	1 741 575
	y post	5 500	220 550	529 786	256 025	440 655	1 452 516
BASSIN PARISIEN	x pré	18 500	325 451	160 190	51 337	141 652	697 130
	y post	18 500	361 269	176 810	56 663	156 348	769 590
NORD	x pré	500	154 732	118 830	12 225	23 473	309 760
	y post	500	161 628	124 170	12 775	24 527	323 600
EST	x pré	5 000	235 266	51 094	16 856	112 195	420 411
	y post	5 000	210 920	45 906	15 144	100 805	377 775
OUEST	x pré	10 500	137 537	40 665	56 742	125 779	371 223
	y post	10 500	154 296	45 335	63 258	140 221	413 610
SUD-OUEST	x pré	11 000	134 435	98 631	27 449	67 460	338 975
	y post	11 000	156 340	113 369	31 551	77 540	389 800
MASSIF CENTRAL	x pré	9 000	81 550	21 953	10 721	44 926	168 150
	y post	9 000	77 880	21 047	10 279	43 074	161 280
RHONE-ALPES	x pré	25 000	154 450	109 675	45 820	168 655	503 600
	y post	25 000	163 530	115 325	48 180	177 345	529 380
MEDITERRANEE	x pré	20 500	131 486	86 513	48 609	347 442	634 550
	y post	20 500	104 149	68 487	39 391	281 558	514 085
TOTAL		105 500	1 620 448	1 322 765	576 734	1 559 927	5 185 374
		105 500	1 610 562	1 240 235	533 266	1 442 073	4 931 635

Les locaux tertiaires* ont pour leur part été projetés en distinguant par tranches de villes et ZEATMOD les surfaces réalisées respectivement avant et après 1975. La surface des locaux tertiaires a été calculée par ZEATMOD, en fonction principalement de la valeur ajoutée du secteur des services. Il en est résulté que cette surface serait de $482.10^6.m^2$ en 2000, répartis entre $234.10^6.m^2$ construits avant 1975 et $248.10^6.m^2$ construits après 1975 (contre $350.10^6.m^2$ existant en 1975).

Au sein de chaque région, il a été supposé que cette surface était répartie dans chaque commune proportionnellement à la population de la commune. Ceci néglige le fait qu'il est vraisemblable qu'existe des relations de cause à effet entre taille et population d'une ville d'un côté, et surface du tertiaire de l'autre. En l'état actuel de l'information disponible, une telle liaison était impossible à mettre en évidence pour l'année de référence ; a fortiori pour l'année 2000.

Les 482 millions de m^2 de locaux tertiaires se répartissent à raison de :

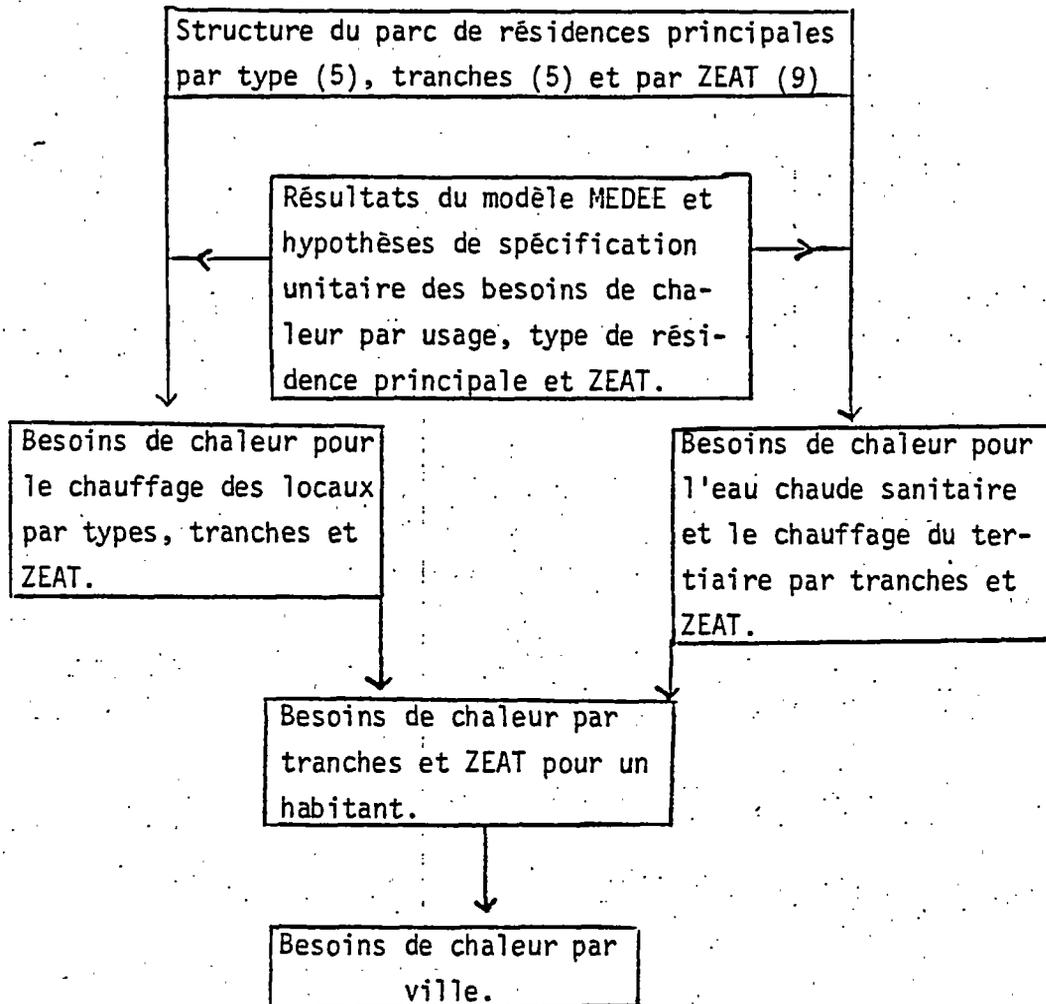
10,4 m^2 /habitant	en région parisienne
7,7 m^2 /habitant	en bassin parisien
7,2 m^2 /	" dans le Nord
7,3 m^2 /	" dans l'Est
7,2 m^2 /	" dans l'Ouest
7,5 m^2 /	" dans le Sud Ouest
7,2 m^2 /	" dans le Massif Central
7,7 m^2 /	" en Rhône-Alpes
7,8 m^2 /	" en Méditerranée

On cherche donc ensuite à projeter les besoins de chaleur dans les usages résidentiels et tertiaires par tranches de villes et par ZEAT avant de les projeter pour chaque ville au prorata de sa population dans la tranche et la ZEATMOD concernées. Ce passage de projections par tranches de villes et par ZEAT à chacune des villes repose en fait sur une hypothèse très simplificatrice qui revient à admettre une évolution homogène des besoins de chaleur par habitant pour chaque ville à l'intérieur de chacune de ces tranches dans une ZEAT donnée. Elle n'en est pas moins indispensable puisque l'on renonce à simuler l'évolution du parc de logements ville par ville, cette simulation étant trop manifestement hors de portée pratique.

La procédure adoptée est représentée par le schéma 4.

* ne sont pris en compte ici que les locaux chauffés du secteur tertiaire, à l'exclusion des locaux chauffés dans l'industrie et l'agriculture.

Schéma 4 - Méthode d'évaluation des besoins de chaleur par ville



I.3.1. Besoins unitaires de chaleur

Les besoins unitaires de chaleur sont spécifiés en énergie utile, c'est-à-dire indépendamment des divers rendements d'utilisation (combustion, distribution, adéquation, etc...) qui eux varient selon les sources d'énergie et les performances des installations de chauffage.

Ces besoins sont estimés selon trois catégories d'usages :

- . chauffage des logements,
- . eau chaude sanitaire domestique,
- . chauffage et eau chaude destinés aux locaux tertiaires.

a) Chauffage des logements

Les besoins unitaires ont été établis pour chacun des cinq types de résidences principales retenus et par ZEAT. Ces estimations issues du modèle MEDEE reposent sur une série d'hypothèses concernant en particulier :

- . l'évaluation des degrés-jours moyens par ZEAT,
- . l'amélioration thermique des logements construits avant 1975,
- . les caractéristiques thermiques par ZEAT des logements construits après 1975.

Ces besoins unitaires sont reproduits dans le tableau ci-après, tableau n° 4.

Ce tableau comporte de nouvelles estimations (postérieures à l'étude réalisée par l'IEJE pour la DATAR), des besoins de chauffage pour les seules catégories NEWDW (1) et NEWDW (2), afin de mieux prendre en compte les nouvelles perspectives d'isolation et de déperdition thermiques retenues aujourd'hui en 1982 pour 1990.

On a donc retenu comme base nationale de calcul les estimations suivantes pour les nouvelles maisons individuelles et les nouveaux logements en immeuble collectif, chauffés par le chauffage urbain.

Besoins en énergie utile	Maison individuelle	Logement en immeuble collectif
Logements chauffés par le chauffage urbain	0,9 TEP	0,75 TEP

Source : Déduction des consommations unitaires exprimées en énergie finale, retenues dans les annexes du rapport HUGON pour l'horizon 1990.

**Tableau 4 : BESOINS UNITAIRES DE CHAUFFAGE PAR TYPE DE RESIDENCES PRINCIPALES
ET PAR REGIONS EN 2 000**

Unité = 1 TEP (= 10 000 th)

	MICCPRE (PREDW(1))	COCCPRE (PREDW(2))	RESACCPRE (PREDW(3))	MICCPPOST (NEWDW (1))	COCCPOST (NEWDW(2))
REGION PARISIENNE	1.180	0.840	0.460	0.94	0.78
BASSIN PARISIEN	1.195	0.878	0.464	0.95	0.79
NORD	1.257	0.891	1.099	1	0.83
EST	1.365	0.967	0.530	1.08	0.90
OUEST	1.021	0.728	0.400	0.80	0.67
SUD-OUEST	0.965	0.686	0.374	0.77	0.64
MASSIF CENTRAL	1.255	0.890	0.481	0.98	0.82
RHONE-ALPES	1.253	0.885	0.475	1	0.83
MEDITERRANEE	0.761	0.546	0.290	0.61	0.51

b) Eau chaude sanitaire domestique

Les besoins unitaires sont supposés uniformes sur le territoire à l'horizon 2000 et estimés à 1400 thermies/habitant/an.

c) Chauffage et eau chaude du tertiaire

Les besoins unitaires de chaleur du tertiaire ont été établis forfaitairement, et sans distinction des ZEAT à 120 thermies/m² pour les locaux réalisés après 1975 et 200 thermies/m² pour les locaux réalisés antérieurement. Cette dernière estimation suppose des économies d'énergie de 20 % sur les consommations unitaires observées en 1975.

I.3.2. Besoins de chaleur par ZEAT et tranches de villes

Compte-tenu des hypothèses de besoins unitaires, les besoins globaux par tranches de villes et ZEAT sont obtenus en prenant respectivement comme multiplicateur :

- . le parc des résidences principales (cinq types) pour le chauffage domestique ;
- . le nombre d'habitants pour l'eau chaude sanitaire ;
- . les surfaces des locaux pour le chauffage et l'eau chaude du tertiaire ;

et en additionnant les besoins par usage.

I.3.3. Besoins de chaleur par villes

On passe aisément des besoins de chaleur par tranches de villes et par ZEAT aux besoins par villes :

- en calculant des besoins unitaires par habitant, soit le quotient des besoins globaux de chaque tranche par sa population en 2000. Pour estimer ces populations on a supposé que la répartition des populations par tranches de villes ne varierait pas de 1975 à 2000. Cette hypothèse est conforme aux orientations du scénario III et revient à admettre une croissance homogène des tranches de villes, c'est-à-dire un arrêt du processus de concentration urbaine. Les besoins unitaires par habitant ainsi calculés figurent dans le tableau n° 5.

TABLEAU 5 : BESOINS DE CHALEUR DANS LES USAGES RESIDENTIELS ET TERTIAIRE
A L'HORIZON 2000 PAR TRANCHE DE COMMUNES ET REGIONS

Unités : kth par 1000 hab.

ANNEE 2000 S3	Communes rurales	communes 2000-20 000	Communes 20-50000 hab.	Communes 50-100000 hab.	Communes au-delà de 100000 h	Moyenne
REGION PARISIENNE	6 730	6 513	6 409	6 424	6 448	6 458
BASSIN PARISIEN	6 063	5 768	5 647	5 825	4 027	5 882
NORD	6 225	5 876	5 557	6 049	6 912	5 907
EST	5 259	5 962	5 923	5 886	5 891	6 039
OUEST	5 426	5 234	5 196	5 257	5 194	5 317
SUD-OUEST	5 297	5 086	4 973	5 066	5 112	5 147
MASSIF CENTRAL	6 192	5 840	5 769	6 034	5 924	6 012
RHONE ALPES	6 207	5 997	5 868	5 841	5 865	5 960
MEDITERRANEE	5 034	4 318	4 914	4 905	4 847	4 898
MOYENNE NATIONALE PAR TRANCHE	5 803	5 673	5 816	5 870	5 507	5 716

- Puis en multipliant la population de chaque ville en 2000 par ces besoins unitaires selon les tranches de ville et les ZEATMOD. Pour estimer la population respective de chaque ville on a supposé comme pour l'évaluation des besoins unitaires une évolution uniforme des villes à l'intérieur de leur tranche : en d'autres termes chaque ville garde un poids constant dans sa tranche de 1975 à 2000.

I.4. Une évaluation des potentiels de pénétration des sources de chaleur de réseaux par ville et région ZEATMOD

Disposant d'estimations des besoins de chaleur pour chaque ville, les potentiels de pénétration des sources de chaleur de réseaux ont été déterminés en fonction de quatre types de considération :

- . des critères d'implantation de réseaux de chaleur ;
- . des critères d'arbitrage entre sources de chaleur ;
- . des taux de raccordement des usages thermiques à ces réseaux ;
- . des ressources géothermales prises en compte.

Par ailleurs deux types de sources de chaleur ont été arbitrairement retenues : la production combinée et la géothermie.

Les deux techniques envisagées de production combinée chaleur/électricité, sont :

- celle de turbines à vapeur, à contre pression dont les chaudières sont alimentées par du charbon national ou importé ;
- celle de turbines à gaz à cycle combiné alimentées par le gaz naturel.

Une ville accueille l'une de ces 2 techniques, qui possèdent des rendements en chaleur et en électricité différents, avec une priorité de principe à celle de la turbine à gaz, sauf dans le cas de villes d'une part situées sur le littoral ou le long d'un fleuve, pour faciliter les transports de charbon, et d'autre part suffisamment importante pour justifier le surcoût en investissement.

1.4.1. Critères d'implantation des réseaux de chaleur

Les critères d'implantation des réseaux, variables selon les caractéristiques des sources de chaleur, sont de trois ordres :

- le climat. La rentabilité des grands réseaux de chauffage urbains n'est pas assurée en-deça d'une certaine durée des saisons de chauffage. C'est pourquoi ont été exclues de l'évaluation du potentiel de production combinée les deux ZEATMOD méridionales : SUD-OUEST et MEDITERRANEE ;
- la densité des besoins de chaleur par ville. La densité a été évaluée au niveau communal et quatre classes de densité ont été définies :
 - d0 = de 40 à 130 kth/ha
 - d1 = de 130 à 200 kth/ha
 - d2 = de 200 à 260 kth/ha
 - d3 = supérieur à 260 kth/ha

Les villes dont la densité s'avère inférieure à d0 ne sont pas retenues ni pour la production combinée, ni pour la géothermie et les villes de densité inférieure à d1 ne sont pas prises en compte pour la production combinée ;

- la taille des villes. Un seuil minimum de 20 000 habitants est fixé pour les deux sources d'énergie. De plus la production combinée n'est prise en compte que dans les deux cas :
 - . soit la ville concernée appartient à la tranche des villes de plus de 50 000 habitants ;
 - . soit elle appartient à une ville de la tranche de 20-50 000 tout en étant contigüe d'une ville de plus de 50 000 habitants dont la densité de chaleur justifie un réseau de chauffage urbain.

1.4.2. Critères d'arbitrage

La géothermie peut se trouver en concurrence avec la production combinée dans les villes de plus de 50 000 habitants et dans les villes, nombreuses en région Parisienne, de plus de 20 000 et contigües des précédentes.

L'arbitrage a été effectué selon les règles suivantes :

- si la densité de chaleur est inférieure ou égale à d2 la géothermie a priorité sur la production combinée ;
- si la densité de chaleur est supérieure ou égale à d3 la production combinée urbaine a priorité sur la géothermie.

Ces règles d'arbitrage reposent essentiellement sur deux observations empiriques mais pas nécessairement universelles. D'une part la facilité de pénétration des réseaux dans les villes de forte densité, et inversement d'autre part les difficultés de couverture des besoins en proportion importante par la géothermie du fait des contraintes d'implantation et d'écartement des doublets géothermiques. L'application de ces règles conduit bien entendu à sous-estimer le potentiel de pénétration de la géothermie en faveur de la production combinée.

I.4.3. Taux de raccordement

Aucune distinction n'a été opérée entre les sources de chaleurs quant au taux de raccordement des besoins de chaleur aux réseaux qu'elles alimentent. De manière arbitraire on a lié ces deux taux de raccordement à la densité des besoins de chaleur. Ce choix résulte de l'observation empirique selon laquelle les réseaux "écrèment" les zones d'habitat (ou quartiers) les plus denses dans les communes à faible densité moyenne tandis qu'ils peuvent se développer plus uniformément dans les villes à forte densité dont l'urbanisation est généralement très avancée.

On a adopté les taux de raccordements suivants :

Densité de chaleur	Taux de raccordement
d0	20 %
d1	35 %
d2	55 %
d3	70 %

I.4.4. Ressources géothermales*

Les contraintes de transport de la chaleur excluent le raccordement des villes non directement situées au-dessus d'une nappe géothermique. Mais par ailleurs d'autres contraintes s'y surajoutent qui limitent les conditions d'exploitation des ressources géothermales, en particulier les contraintes de températures de distribution de la chaleur dans les locaux, de débit d'exploitation et de profondeur des nappes.

Mais par ailleurs les caractéristiques de la demande de chaleur (modulation, densité, température des corps radiants) déterminent eux-aussi l'intérêt de l'exploitation des ressources. Seule la confrontation des caractéristiques de la ressource et de la demande peut donc permettre de déterminer de façon précise le potentiel d'exploitation.

En pratique ce sont des conditions moyennes qui ont été retenues pour estimer un potentiel ; en l'occurrence n'ont été prises en compte que les nappes dont la température dépasse 50° C et dont la transmissivité est supérieure à 5 darcy mètre. De plus, seules les nappes relativement bien connues ont été prises en compte. Ces critères permettent de délimiter les ressources potentielles de la façon suivante :

1°) Bassin Parisien. Il s'agit essentiellement des nappes du Dogger et du Lusitanien à l'intérieur du périmètre Compiègne - Soissons - Epernay - Fontainebleau - Versailles - Mantes - Beauvais.

En l'absence de concurrence d'autres sources de chaleur toutes les villes de plus de 20 000 habitants de la ZEATMOD Région Parisienne excepté Montereau, Trappes et Plaisir, sont raccordables. En revanche dans le Bassin Parisien seules les villes d'Epernay, Soissons, Compiègne, Creil et Vierzon paraissent raccordables.

La prise en compte du Trias n'ajoute à ce bilan que deux villes importantes pouvant être raccordées, en l'occurrence Orléans et Verdun.

2°) Alsace. Les ressources respectant les deux contraintes énoncées et situées à proximité des villes importantes étant toutes situées au nord de Strasbourg, on a prévu la possibilité de raccorder Haguenau, Schiltigheim et Strasbourg à la nappe du Trias inférieur.

3°) Rhône-Alpes. Seule la ville de Bourg-en-Bresse offre à ce jour des chances de pouvoir être raccordée à une nappe respectant les contraintes énoncées.

4°) Sud-Ouest. Malgré l'abondance des ressources, seules quatre villes offrent à ce jour une possibilité de raccordement dans les conditions indiquées, à savoir : Bergerac, Libourne, Mont-de-Marsan et Auch.

* Texte IEJE rédigé en 1978

RESULTATS OBTENUS

L'ensemble des règles énoncées (critères d'implantation des réseaux et d'arbitrage entre sources, délimitation de gisements) permet de sélectionner un certain nombre de villes raccordables à des sources géothermales dans cinq ZEATMOD.

Les populations de ces villes et leurs besoins de chaleur unitaires ayant été déterminés antérieurement, on détermine alors les besoins de chaleur raccordables en énergie utile par l'intermédiaire des taux de raccordement supposés.

Pour parvenir au potentiel d'utilisation des ressources géothermales, il ne reste plus alors qu'à déterminer la demande finale correspondant à des pertes de transport-distribution estimées à 15 %, puis à répartir cette demande finale entre l'apport de base de la géothermie, soit 75 % par hypothèse, et l'apport complémentaire des combustibles fossiles. On obtient ainsi un potentiel d'utilisation des ressources géothermiques de 183 000 tep/an.

Les tableaux 6a et 6b donnent les résultats, région par région. Il en ressort que, selon cette évaluation, et en l'an 2 000, 14,9 millions d'habitants seront desservis par réseau de chaleur. Cela représente des besoins en énergie utile de 5,264 Mtep, dont 5,052 Mtep sont satisfaits par production combinée, et 0,212 Mtep sont assurés en base par géothermie.

Le potentiel de la géothermie, tel que défini ci-dessus, s'établit donc à 0,183 Mtep, dont 75 % en région parisienne, 7,5 % en bassin parisien, 8 % dans l'est, 6,5 % en Rhône Alpes et 3 % en Sud-Ouest.

II - SENSIBILITE DES RESULTATS AUX VARIATIONS DES HYPOTHESES

II.1. Ajustement des hypothèses géologiques :

Pour ce qui est des ressources géothermiques, le travail de l'IEJE se fonde sur l'état des connaissances en 1978.

Nous avons repris les calculs effectués, ville par ville, à la lumière des connaissances actuelles, ce qui a notamment pour effet d'augmenter le potentiel du bassin parisien et du Sud-Ouest.

Le tableau n°7 présente les résultats obtenus en augmentation d'environ 50 % sur ceux de l'IEJE. Le potentiel de la géothermie est porté à 0,278 Mtep.

II.2. Modification de l'arbitrage entre les sources de chaleur

L'hypothèse la plus déterminante sur le résultat est celle qui privilégie la production combinée par rapport à la géothermie.

C'est pourquoi, un second calcul a été effectué, en donnant systématiquement la priorité à la géothermie là où des ressources existent (au sens de l'IEJE : plus de 50°C et de 5 D.m).

TABLEAU 6a : POTENTIEL D'UTILISATION DE
LA GEOTHERMIE EN 2000

Résultat IEJE (02/82)

Energie finale : 1.15 Energie Utile

Potentiel : 0,75 Energie finale

Unité = 1 000 tep et 1 000 habitants

ZEATMOD \ Tranches	20 à 50 000		50 à 100 000		> 100 000		Total Energie utile	Total Energie finale	Potentiel de géothermie
	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins			
REGION PARISIENNE (hors PARIS)	506	124	100	35	0	0	159	183	137
PARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BASSIN PARISIEN	112	16	0	0	0	0	16	18	14
NCRD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EST	58	17	0	0	0	0	17	20	15
OUEST	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUD-OUEST	56	6	0	0	0	0	6	7	5
MASSIF CENTRAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RHONE - ALPES	46	5	74	9	0	0	14	16	12
MEDITERRANEE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	778	168	174	44	0	0	212	244	183

Total population : 952 000

TABLEAU 6 b : POTENTIEL D'UTILISATION DE LA
PRODUCTION COMBINEE EN 2000

Résultat IEJE (02/82)

Energie finale : 1.15 Energie Utile

Potentiel : 0,75 Energie finale

Unité = 1 000 tep et 1 000 habitants

ZEATMOD	Tranches	20 à 50 000		50 à 100 000		> 100 000		TOTAL	
		Popul.	Besoins	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins	Population	Energie utile
REGION PARISIENNE (hors PARIS)		2 692	1 175	1 757	790	2 670	1 205	7 119	3 170
PARIS		0	0	0	0	0	0	0	0
BASSIN PARISIEN		165	48	273	79	1 124	198	1 562	325
NORD		225	65	174	37	416	201	815	303
EST		64	21	59	19	643	147	766	187
OUEST		41	7	658	96	1 091	297	1 790	400
SUD-OUEST		0	0	0	0	0	0	0	0
MASSIF CENTRAL		0	0	63	13	176	57	239	70
RHONE - ALPES		380	130	258	83	1 057	384	1 695	597
MEDITERRANEE		0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	3 567	1 446	3 242	1 117	7 177	2 489	13 986	5 052

TABLEAU 7 : POTENTIEL D'UTILISATION DE
LA GEOTHERMIE EN 2000

Calcul 1

Energie finale : 1.15 Energie Utile

Potentiel : 0,75 Energie finale

Unité = 1 000 tep et 1 000 habitants

ZEATMOD \ Tranches	20 à 50 000		50 à 100 000		> 100 000		Total Energie utile	Total Energie finale	Potentiel de géothermie
	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins			
REGION PARISIENNE (hors PARIS)	506	124	100	35	0	0	159	183	137
PARIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BASSIN PARISIEN	186	28	254	54	310	44	126	145	109
NCRD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EST	53	6,3	70	8,2	0	0	14,5	17	13
OUEST	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUD-OUEST	56	5,5	59	16,4	0	0	22	25	19
MASSIF CENTRAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RHONE - ALPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDITERRANEE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	801	164	542	114	310	44	321	370	278

Total Population : 1 594 000 hab.

Le tableau 8 présente les résultats obtenus, en très nette augmentation sur les précédents puisque le potentiel de la géothermie tel que défini ci-dessus est porté à 3,281 Mtep, soit un facteur multiplicatif voisin de 12 par rapport au résultat précédent. La ville de Paris intervient pour environ 30 % dans ce total.

II.3. Prise en compte de la densité des forages géothermiques :

L'arbitrage systématiquement favorable à la géothermie a pour effet de conduire à des densités élevées de forages, dans les villes où la densité de besoin de chaleur est élevée.

Aussi, les résultats précédents (II.2) doivent-ils être repris, pour être plus réalistes, en tenant compte du volume de réservoir nécessaire à chaque opération.

Pour celà, on a fait le raisonnement simpliste suivant :

- on suppose que chaque opération est constituée d'un doublet, dont l'emprise est de 300 ha (2 x 1,5 km),
- la puissance thermique fournie par une telle surface est prise égale à 8 kth/h (200 m³/h, $\Delta t = 40^{\circ}\text{C}$),
- la géothermie couvre 75 % des besoins, avec une puissance égale à 50 % de la puissance maximale appelée,
- la durée équivalente de fonctionnement à pleine puissance est de 2 300 h/an, donc la durée équivalente de fonctionnement de la puissance géothermale est d'environ 3 500 h,
- le "potentiel de la géothermie" est donc d'environ 90 kth par hectare et par an.

Chacune des communes a donc été réexaminée, et le taux de raccordement a été calculé de manière à respecter cette nouvelle contrainte

Pour les classes d0 et d1, les taux de raccordement à la géothermie restent les mêmes (20 % et 35 %). Par contre, pour les classes d2 et d3, ils diminuent.

Pour la classe d2, il s'établit entre 41 % et 51 %, la moyenne étant à 45 %.

Pour la classe d3, il s'établit entre 3 % et 40 %, la moyenne étant à 22 %.

Le résultat global du calcul est présenté par le tableau 9. On constate le rôle prépondérant joué par la prise en compte de cette contrainte puisque le potentiel de la géothermie est ramené de 3,3 Mtep à 1,1 Mtep. Cette réduction affecte surtout les grandes concentrations de population, puisque la contribution de la ville de Paris passe de 954 Ktep à 95 ktep, soit une division par dix.

TABLEAU 8 : POTENTIEL D'UTILISATION DE
LA GEOTHERMIE EN 2 000

Calcul 2

Unité = 1 000 tep et 1 000 habitants

Energie finale : 1.15 Energie Utile

Potentiel : 0,75 Energie finale

ZEATMOD \ Tranches	20 à 50 000		50 à 100 000		> 100 000		Total Energie utile	Total Energie finale	Potentiel de géothermie
	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins	Popul.	Besoins			
REGION PARISIENNE (hors PARIS)	3 267	1 312	1 858	826	220	100	2 238	2 574	1 930
PARIS	0	0	0	0	2 500	1 106	1 106	1 272	954
BASSIN PARISIEN	186	28	332	86	451	44	158	182	136
NORD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EST	86	17	70	8	403	142	167	192	144
OUEST	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUD-OUEST	56	6	117	37	260	93	136	156	117
MASSIF CENTRAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RHONE - ALPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDITERRANEE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3 595	1 363	2 377	957	3 834	1 485	3 805	4 375	3 281

Total population : 7 306 000 hab.

II.4. Prise en compte des communes de moins de 20 000 habitants

Il est dommage d'exclure de l'évaluation les communes dont la population en 1975 était comprise entre 10 000 et 20 000 habitants. Pour ces communes, des densités de population ont été calculées et les taux de raccordement moyens définis en II.3 ont été utilisés.

Le résultat du calcul est que ces communes représentent des besoins, qui s'établissent à : 205 ktep (région parisienne), 65 ktep (bassin parisien), 70 ktep (Est), 18 ktep (Sud Ouest).

Au total, le potentiel de la géothermie au terme de ce dernier calcul s'établit à 1,469 Mtep.

TABLEAU 9 : POTENTIEL D'UTILISATION DE
LA GEOTHERMIE EN 2000

Calcul 3

Energie finale : 1.15 Energie Utile
Potentiel : 0,75 Energie finale

Unité = 1 000 tep et 1 000 habitants

ZEATMOD \ Tranches	20 à 50 000 Besoins.	50 à 100 000 Besoins	> 100 000 Besoins.	Total Energie utile	Total Energie finale	Potentiel de géothermie
REGION PARISIENNE (hors PARIS)	549	248	26	823	947	710
PARIS	0	0	0	110	126	95
BASSIN PARISIEN	28	63	44	135	155	116
NORD	0	0	0	0	0	0
EST	14	8	105	127	146	110
OUEST	0	0	0	0	0	0
SUD-OUEST	6	25	52	83	95	72
MASSIF CENTRAL	0	0	0	0	0	0
RHONE - ALPES	0	0	0	0	0	0
MEDITERRANEE	0	0	0	0	0	0
TOTAL	597	344	227	1 278	1 469	1 103

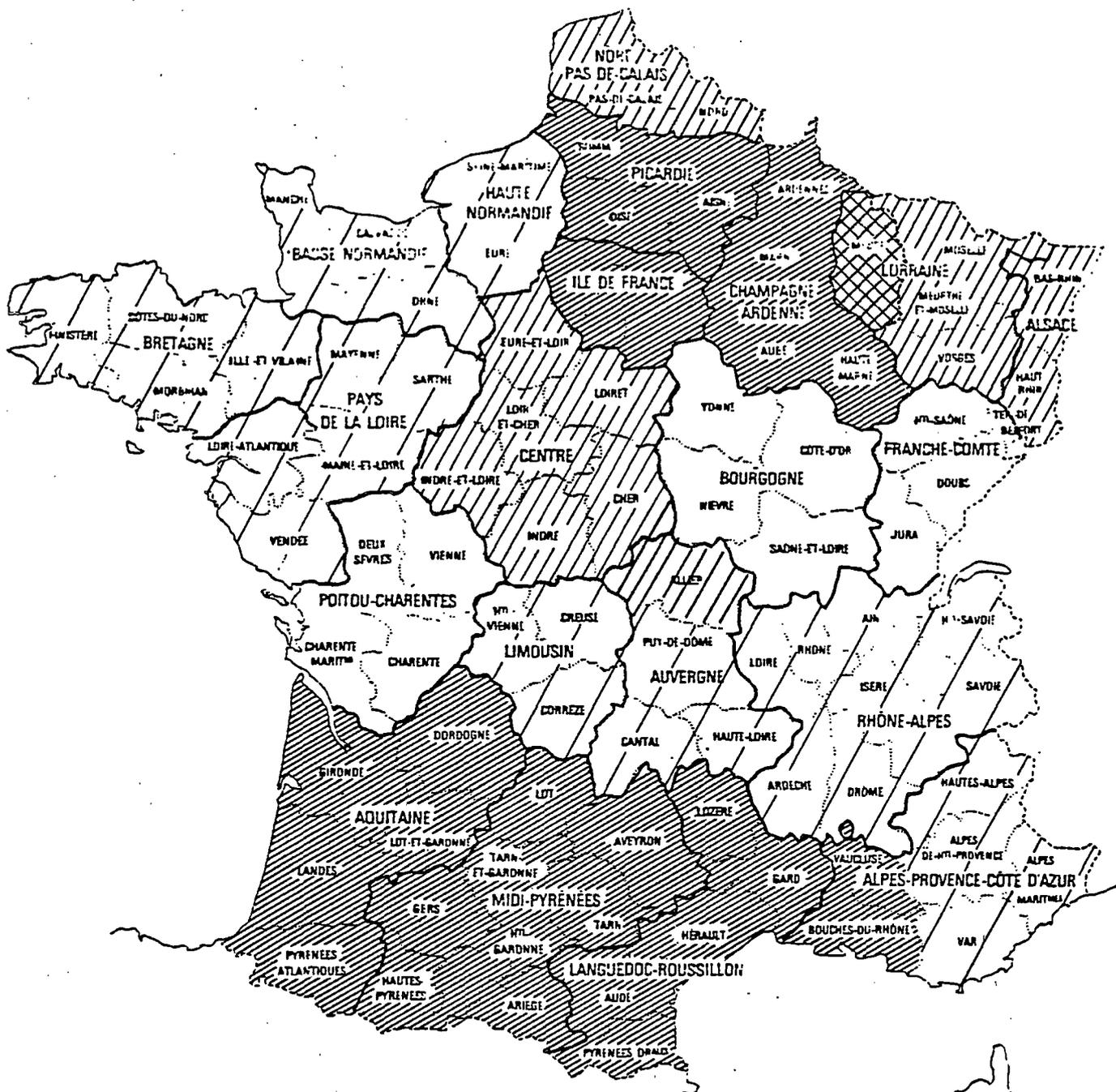
A N N E X E 3

SYNTHESE DES INVENTAIRES GEOTHERMIQUES

SYNTHESE DES INVENTAIRES

- I - PRESENTATION DE LA SYNTHESE
- II - FICHES PAR INVENTAIRE
- III - TABLEAUX PAR INVENTAIRE
- IV - RESULTATS

I PRESENTATION DE LA SYNTHÈSE



SYNTHESE DES INVENTAIRES GEOTHERMIQUES



Zones sans potentiel géothermique significatif



Absence totale d'informations sur les besoins de surface



Quelques informations sur les besoins de surface - Pas d'inventaire



Inventaire sommaire.



Inventaire complet.



SYNTHESE DES INVENTAIRES DE GEOTHERMIE BASSE TEMPERATURE EN FRANCE

REALISES OU EN COURS AU 1er JUILLET 1982

Pour les besoins de l'étude du potentiel géothermique français, une synthèse des différents inventaires de géothermie basse température en France a été réalisée.

Cette synthèse s'appuie sur les inventaires publiés à ce jour ainsi que sur des documents plus fragmentaires ou en cours d'élaboration dont les résultats sont parfois incomplets.

Pour chaque région possédant un inventaire ou des documents utilisables en tant que tel, une série de tableaux a été réalisée. Ces tableaux récapitulent le nom des opérations de géothermie possibles et leurs caractéristiques (nombre d'équivalent-logements, type d'émetteur de chaleur, consommation, stade d'avancement du projet et intérêt du projet).

Géochaleur qui réalise actuellement une synthèse des inventaires de la région Ile de France pour la Direction régionale de l'équipement nous a aimablement communiqué l'ensemble des tableaux relatifs aux départements de cette région.

La présente annexe comporte également une fiche par inventaire où figurent les conditions de réalisation de l'étude (demandeur, bureaux d'études) ainsi que les principaux résultats obtenus (importance des besoins raccordables à une opération de géothermie, sites particuliers étudiés etc...)

Pour conclure :

- le tableau A présente l'ensemble des inventaires,
- la fiche récapitulative B rassemble les besoins de chaleur raccordables à un réseau géothermique basse température,
- la fiche C classe les opérations selon leur intérêt.

Les principaux résultats de cette synthèse des inventaires sont les suivants :

- 21 opérations en fonctionnement
- 22 opérations en cours de réalisation
- plus de 100 opérations de géothermie en cours d'étude
- 342 opérations de géothermie profonde identifiées lors des inventaires dont 158 économiquement très intéressantes*
130 économiquement moyennement intéressantes*
54 économiquement peu intéressantes*

* dans les conditions économiques de chacun des inventaires

- 1,59 Mtep raccordables à une opération de géothermie profonde
- 2,15 Mtep raccordables à une opération de géothermie profonde, moyenne profondeur ou très basse température.

N.B. 1 : Différentes hypothèses ont été prises en compte pour l'analyse des inventaires.

1) Consommation énergétique d'un équivalent-logement : 1,25 Tep/an

2) Estimation des besoins raccordables à une opération de géothermie moyenne profondeur ou très basse température. Après analyse des résultats des inventaires HAUTS DE SEINE ET PICARDIE, les hypothèses prises sont :

- pour les départements ou les régions à fort potentiel de géothermie profonde : (potentiel raccordable ou raccordé supérieur à 50 000 Tep),

pour 3 Tep raccordables à une opération de géothermie profonde, une est raccordable à une opération de géothermie moyenne profondeur ou très basse température avec emploi de P.A.C.;

- pour les départements ou les régions à faible potentiel de géothermie profonde (potentiel inférieur à 50 000 Tep),

pour 2 Tep raccordables à une opération de géothermie profonde, une est raccordable à une opération de géothermie moyenne profondeur ou très basse température avec emploi de P.A.C.

N.B. 2 : Sur les tableaux :

- (- radiateurs : Rad, r , RD
- (
- (- planchers chauffants : PC, sol
- (
- (- aérothermes : AER

II FICHES PAR INVENTAIRE

ALSACE

L'inventaire sous-sol a été réalisé par le BRGM et le Geologisches Landesamt Baden Württemberg en 1979 pour le compte de la CEE.

Le BRGM a par ailleurs réuni les éléments indicatifs de consommation des logements et équipements publics qui donnent des besoins d'environ 17 000 Tep sur 5 communes (Wissembourg, Soultz sous forêts, Haguenau, Lutterbach, Mulhouse). Compte-tenu de l'absence d'éléments sur les autres communes, il ne nous est pas possible d'estimer les besoins globaux de l'Alsace.

AUVERGNE

Réalisé en juin 1980 par Géochaleur, le BRGM et TETA, cet inventaire est en fait composé de 3 préétudes de faisabilité sur des sites possédant des sources thermales :

- Bellerive-sur-Allier
- Bourbon l'Archambault
- Néris-les-Bains

Compte-tenu des incertitudes existant sur les ressources géologiques, ces 3 études ont été relativement sommaires. Le potentiel qui serait raccordable à une opération de géothermie est, au total, de 760 Tep.

CENTRE

La Direction interdépartementale de l'industrie de la région Centre a financé en 1979 cet inventaire. Le BRGM, associé à l'OET, en a assuré la réalisation.

Cet inventaire se compose de 6 préétudes de faisabilité :

- Melleray serres (opération réalisée)
- Issoudun malteries (projet abandonné en 1980)
- Vierzon 2 ZAC
- Orléans la Source (ensembles immobiliers)
- St Jean de Braye 1 ZAC
- Tours centre de tri postal (projet abandonné en 1979).

Sur les trois projets possibles et le doublet réalisé, les économies pourraient être de 12 900 Tep par an.

On notera que cette succession de préétudes de faisabilité ne constitue pas un inventaire et que le potentiel de consommateurs géothermisables de la région Centre est vraisemblablement très supérieur aux 12 900 Tep mentionnées plus haut.

AQUITAINE

L'inventaire sous-sol de la région Aquitaine a été réalisé en 1977 par le BRGM et Elf Aquitaine pour le compte de la DGRST.

Le Service régional du BRGM (SGR Aquitaine) réalise actuellement un inventaire des besoins de surface prenant en compte les consommations des logements et quelques consommateurs industriels et agricoles. Le total des consommations est de 100 000 Tep/an (en ne relevant que les ensembles de logements de plus de 400 logements).

Sur les 46 sites possibles pour une (ou plusieurs) opérations de géothermie, 3 sont déjà en cours de fonctionnement (Mt de Marsan I, Bordeaux Mériadeck, Dax) et 4 sont en cours de raccordement (Bordeaux Benauges, Mont-de-Marsan II, Pessac Saige, Hagetmau).

CHAMPAGNE-ARDENNES

Réalisé en mars 1980 par Géochaleur, le BRGM et TETA, pour le compte de l'EPR Champagne-Ardenne, cet inventaire a permis d'étudier les ressources géothermiques (aquifères intermédiaires et profonds : CRETACE INFÉRIEUR, LUSITANIEN, DOGGER, RHETIEN, TRIAS) ainsi que les consommateurs pouvant éventuellement être raccordés à la géothermie. L'inventaire surface, relativement peu détaillé, a pris en compte les logements ainsi que certains besoins agricoles et industriels.

Cet inventaire a été complété par 5 préétudes de faisabilité réalisées sur les sites suivants :

- Epernay (forage en cours)
- St Dizier
- Reims Murigny (forage réalisé)
- Reims Orgeval
- Châlons-sur-Marne

L'ensemble des utilisateurs (comprenant quelques ensembles de faible dimension -200 logements-) représenterait un potentiel de 46 000 Tep.

ESSONNE

Réalisé par Géochaleur, le BRGM et TETA en octobre 1981 pour le compte du Conseil général de l'Essonne, cet inventaire se compose d'un rapport général sur la géothermie, d'un inventaire sous-sol étudiant les aquifères intermédiaires et profonds (Albien, Néocomien, Lusitanien, Dogger, Trias) ainsi que d'un inventaire surface.

L'étude surface a permis de relever les caractéristiques thermiques du parc immobilier de 33 localités dont 3 ont actuellement une opération en cours de réalisation (Evry, Montgeron, Ris Orangis). Le département de l'Essonne a de plus une opération de géothermie pour utilisation industrielle : Bruyères le Chatel.

Sur le département, 27 opérations sont a priori possibles. Elles permettraient de raccorder à la géothermie des ensembles immobiliers consommant actuellement 133 000 Tep par an.

Dans l'inventaire, 13 sites font l'objet d'études de préfaisabilité :

- Epinay-sous-Senart
- Draveil
- Corbeil Essonne
- Chilly Mazarin
- Athis Mons
- Grigny
- Longjumeau
- Massy
- Ste Geneviève-des-Bois
- St Michel-sur-Orge
- Vigneux
- Viry-Chatillon
- Hyerres

HAUTS-DE-SEINE

INVENTAIRE GEOTHERMIE PROFONDE

Réalisé en mai 1979 par Géotherma, cet inventaire a été financé par le département des Hauts-de-Seine.

L'étude sous-sol a permis de cerner les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères intermédiaires et profonds (Aptien, Barrémien, Néocomien, Lusitanien, Dogger, Trias).

L'étude surface a inventorié les caractéristiques de consommation de 34 communes dont 18 semblent présenter des caractéristiques favorables à la réalisation d'une opération de géothermie. Ces 18 opérations permettraient de raccorder des ensembles dont la consommation est d'environ 110 000 Tep.

3 sites ont été particulièrement étudiés à l'occasion d'une étude de préfaisabilité :

- Le Plessis Robinson
- Nanterre
- Asnières.

PARIS

Cet inventaire réalisé par Géochaleur, le Béture et le BRGM fin 1981 (les 4 études de sites sont actuellement en cours) pour le compte du département de Paris et de l'EPR Ile de France comporte une étude sous-sol et une étude surface sur sept arrondissements (12ème, 13ème, 14ème, 17ème, 18ème, 19ème, 20ème).

L'inventaire sous-sol comporte l'étude des aquifères moyenne et grande profondeur (Albien, Néocomien, Lusitanien, Dogger, Trias).

L'inventaire surface a permis d'individualiser 20 sites potentiels regroupant chacun 3 000 équivalents logements au moins :

(Haut Bel Air, Bel Air Picpus, Haut Picpus, Olympiades-Massena Choisy est-Massena Choisy ouest, Nationale, Galaxie-Maisons Blanches, Gare, Cité universitaire-Porte d'Orléans, Bas Plaisance, Porte d'Asnières, Epinettes, Porte de Clignancourt, Chapelle Centre-Gazomètre, La Villette, Haut Amérique, Bas Amérique, Amérique, Combat, Belleville, Saint Fargeau).

Le nombre de Tep géothermisables est de 122 000. On voit que la concentration des besoins est particulièrement importante. Compte-tenu de cette densité et des problèmes d'occupation des sols, il est probable qu'il ne sera pas possible de réaliser ces 20 opérations dont toutes ne paraissent a priori pas très favorables.

HAUTS-DE-SEINE

INVENTAIRE GEOTHERMIE TRES BASSE TEMPERATURE (PAC)

Cet inventaire réalisé en novembre 1980 par Géoservices Hydrologie, OET et Elise a été financé par le département des Hauts-de-Seine.

La partie géologique de l'inventaire s'est attachée à mettre en évidence les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères peu profonds (10 à 1 000 m). (Alluvions, Oligocène, Eocène, Craie, Barrémien-Néocomien, Albien). De plus, les problèmes techniques, financiers et administratifs relatifs à l'exploitation de ces nappes superficielles ou peu profondes ont été étudiés.

L'inventaire surface a permis d'étudier les caractéristiques de 36 communes (installations collectives susceptibles d'être raccordées pour des utilisateurs de 10 à 800 éq.logements, ressources thermiques locales, problèmes spécifiques de rejet).

5 Sites particuliers ont fait l'objet d'une étude de préfaisabilité :

- Colombes 570 logements avec PAC
- Vanves 182 logements neufs
- Levallois Perret Groupe scolaire
- Colombes Piscine
- Saint Cloud Piscine

L'analyse menée lors de cet inventaire montre que les ressources de la géothermie très basse température peuvent assurer le déplacement de 35 000 Tep de combustible classique par an.

SEINE-ET-MARNE

Cet inventaire a été réalisé par Géochaleur, SECOTEB Ingénierie et le BRGM en mai 1980. Il a été financé par le Conseil Général de Seine et Marne et par le Ministère de l'Industrie. L'étude sous-sol a pris en compte les aquifères profonds (Lusitanien, Dogger, Trias).

L'étude surface a permis d'inventorier les ensembles consommateurs de 20 localités en recensant les logements, les équipements publics, les industries et les besoins agricoles. Sur ces 20 localités, 15 semblent posséder des consommateurs présentant des caractéristiques favorables à la géothermie et consomment annuellement 129 300 Tep. Pour ce qui est des opérations existantes, elles sont au nombre de 8 :

- 3 en exploitation (Melun l'Almont, Melun Mée sur Seine, Coulommiers)
- 5 en cours de réalisation (Fontainebleau, Meaux Collinet, Meaux Hôpital, Meaux Beauval I, Meaux Beauval II).

Ces 8 opérations permettront d'économiser au stade final environ 25 000 Tep.

A la suite de l'inventaire, 5 études de préfaisabilité ont été réalisées (Melun, Vaux-le-Pénil, Chelles, Grisy-Suisnes, Provins).

SEINE SAINT-DENIS (EST PARISIEN)

En 1977 et 1978 a été effectué, pour le compte du Ministère de l'Industrie et de la Recherche, un inventaire intitulé "Possibilité d'utilisation de la géothermie dans l'habitat existant de l'Est Parisien". Cet inventaire a porté essentiellement sur le département de Seine St Denis mais également sur le département du Val de Marne.

Cet inventaire a été réalisé par le BRGM et le BETURE.

Il n'a pas réellement été réalisé d'inventaire sous-sol puisque seules les caractéristiques du Dogger ont été étudiées.

De plus, l'inventaire surface est constitué d'une suite de préétudes ponctuelles sur les communes de :

- Blanc Mesnil
- La Courneuve
- Pantin
- Aulnay-sous-Bois
- Garges-les-Gonesse
- Villiers-le-Bel
- Villiers-Gonesse
- Tremblay-les-Gonesse
- Clichy-sous-Bois

De plus, indépendamment de l'inventaire, de nombreuses études de faisabilité ont été réalisées sur ce département.

33 opérations ont ainsi été dénombrées qui représentent un potentiel de consommation de 195 000 Tep environ dont 31 000 raccordées ou en cours de raccordement (Sevrans, La Courneuve Nord et Sud, Clichy-sous-Bois, Aulnay-sous-Bois).

VAL-DE-MARNE

Lors de la réalisation de l'inventaire Est-Parisien (cf. inventaire Seine-St-Denis) le BRGM et le Béture avaient étudié la préfaisabilité de projets géothermiques dans le Val-de-Marne. Les sites étudiés étaient :

- Choisy-Orly
- Créteil
- Sucy-en-Brie.

Actuellement est en cours de réalisation un inventaire sur le département du Val-de-Marne (Géochaleur, SPEG, SERMET) dont les résultats ne sont pas encore publiés définitivement. Les résultats provisoires sont :

- études de 36 communes
- les utilisateurs potentiels de géothermie représenteraient actuellement une consommation de 178 000 Tep.

VAL D'OISE

Réalisé en octobre 1981 pour le compte du Conseil Général du Val d'Oise, cet inventaire a étudié 16 communes représentant un potentiel géothermique de 23 opérations. Sur ces 23 opérations, une est déjà réalisée (Cergy Puisseux) et 10 doublets ont déjà fait l'objet d'études (sur les communes de Sarcelles : 6 opérations, Garges-les-Gonesse : 3 opérations et Villiers le Bel : 1 opération).

Les autres communes présentant des ressources géothermiques satisfaisantes et un potentiel de consommation suffisant sont :

- Argenteuil (3 doublets)
- Franconville (3 doublets)
- Montigny-lès-Cormeilles (1 doublet)
- Taverny (1 doublet)
- Ermont (1 doublet)
- Eaubonne (1 doublet)
- Goussainville (1 doublet)
- Pontoise (1 doublet)

Le potentiel de consommation géothermisable serait d'environ 151 200 Tep dont 6 000 sont déjà raccordées (Cergy Puisseux). L'inventaire sous-sol a porté sur les aquifères profonds (Lusitanien, Dogger, Trias).

Cet inventaire a été réalisé par Géochaleur, le BRGM et le Beture.

YVELINES

Cet inventaire a été réalisé en mai 1981 par Géochaleur et Géotherma. Il a été financé par la Direction Interdépartementale de l'Industrie de la région Ile de France et le Conseil Général du département des Yvelines.

L'étude des réserves géothermiques du sous-sol a porté sur les aquifères profonds (Lusitanien, Dogger, Trias).

L'étude du potentiel de consommation raccordable à la géothermie a été réalisée sur 18 communes. L'estimation de ce potentiel est de 146 700 Tep environ.

L'inventaire des besoins de surface a porté essentiellement sur les logements sociaux, les besoins industriels et agricoles n'étant pas pris en compte.

L'inventaire comprend l'étude de préfaisabilité de 5 sites :

- Le Chesnay
- Trappes
- Les Mureaux
- Vélizy Villacoublay
- La Celle-Saint-Cloud

LANGUEDOC ROUSSILLON PROVENCE COTE D'AZUR

(INVENTAIRE SUR LES REGIONS DU SUD-EST DE LA FRANCE DE PERPIGNAN A MARSEILLE)

Réalisé actuellement par Géotherma pour le compte du Ministère de l'Industrie et de la CCE, cet inventaire a permis de cerner les besoins géothermisables des régions du sud-est de la France (à l'exception des départements de l'Aude, de l'Hérault et des Pyrénées Orientales dont l'étude n'est pas suffisamment avancée à l'heure actuelle).

Les résultats sont les suivants :

- <u>Département des Bouches du Rhône</u> (en tep/an)	
. logements collectifs	35 000
. équipements collectifs	7 000
. industrie - agriculture	38 000
- <u>Département du Vaucluse</u>	
. logements collectifs et équipements	20 000
. industrie	15 000
- <u>Département du Gard</u>	
. logements collectifs et équipements	13 000
. industrie - agriculture	14 000

Au total, ce sont donc 143 000 tep qui pourraient être raccordées à la géothermie sur ces 3 départements.

LORRAINE

Le seul département de Lorraine ayant fait l'objet d'un inventaire géothermique est le département de la Meuse. Les données dont nous disposons pour cette région sont donc extrêmement réduites.

Les différentes études ponctuelles ou estimations donnent pour l'ensemble de la région un potentiel de besoins de surface raccordable à la géothermie de 36 400 Tep environ.

MIDI-PYRENEES

Cet inventaire a été réalisé en 1982 par le BRGM, pour le compte de l'EPR Midi-Pyrénées et du Ministère de l'Industrie. Cet inventaire comprend :

1re partie : étude générale (ressources-besoins)

Cette partie est décomposée en une étude des ressources géologiques (réservoir intramollassique, Eocène inférieur, Paléocène-Danien, Crétacé supérieur, Crétacé inférieur, Jurassique supérieur et moyen, Lias moyen, Lias inférieur - Trias) et un inventaire systématique des sites favorables avec relevé des caractéristiques thermiques (habitations, tertiaire, besoins agricoles et industriels). Sont indiqués les localisations, les propriétaires, les puissances et les consommations.

L'inventaire est complet.

2ème partie : étude de sites

- Toulouse-Rangueil
- Auch
- Nogaro
- Tarbes

Pour chacun des sites, une étude de faisabilité complète mais rapide est réalisée (géologie - thermique - économie - montage financier sommaire).

Note de synthèse

Elle apporte des éléments généraux d'information sur le montage et la réalisation d'un projet géothermique. Elle fait seulement le point sur les perspectives de développement en Midi-Pyrénées.

Conclusion

Le recensement des besoins donne environ 19 200 Tep géothermiques réparties en 13 opérations. Avec une moyenne de 1 500 Tep par opération, on voit que les réservoirs moyenne profondeur seraient vraisemblablement les principaux objectifs du développement de la géothermie en région Midi-Pyrénées.

NORD/PAS-DE-CALAIS

Réalisé actuellement par le BRGM et la CGC pour le compte de la CEE, l'EPR Nord/Pas-de-Calais, l'inventaire zone franco-belge a permis de mettre en évidence trois opérations possibles : St Amand-les-Eaux, Valenciennes Nord-Anzin, Vieux-Condé) regroupant des logements, des ensembles tertiaires ainsi que des besoins industriels assez réduits.

Les besoins totaux pouvant être raccordés à une opération de géothermie sur ces 3 opérations sont d'environ 12 400 Tep.

Les documents dont nous disposons sont assez sommaires compte-tenu du degré d'avancement des travaux.

Une étude de faisabilité est en cours pour chacune des 3 opérations identifiées.

PICARDIE

En cours de réalisation par Géotherma et pour le compte du Ministère de l'Industrie et de l'Etablissement Public Régional de Picardie, cet inventaire a permis d'individualiser 63 100 Tep géothermisables dont :

- 39 300 Tep sur le département de l'Oise,
- 14 500 Tep sur le département de l'Aisne,
- 9 300 Tep sur le département de la Somme.

Ces chiffres sont relatifs aux seuls besoins des logements collectifs, les besoins des autres consommateurs (équipements collectifs, industrie, culture) n'étant pas encore disponibles.

Ces chiffres comprennent les projets de géothermie très basse température sur aquifères superficiels et moyenne profondeur.

La géothermie profonde permettrait de raccorder des utilisateurs consommant actuellement 36 700 Tep contre 26 400 pour la géothermie très basse température (soit 42 % des consommations totales).

III TABLEAU PAR INVENTAIRE

ALSACE

AUVERGNE

(ALLIER)

AQUITAINE

CENTRE

CHAMPAGNES ARDENNES

VILLES (Noms des Opérations)	nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
REIMS										
. Europe	1 640 + 2CET + 1CES	R 100 + faculté + 2 casernes	Total 30000 tep + équip ^{ts} industriels							
. Chatillon	3 950	R 85 PC 15								
. Orgeval	2 221	R 100								
. Croix Rouge	15 000	R 100								
. Murigny I II III 1 500 IV collectifs ~ 5 000 logts au total				x (projet abandonné)			x			
SEZANNE . ZAC St Pierre	200	R 100	~ 250							
VITRY LE FRANCOIS										
. Fauvarge	720	R 100	~ 900							
. ZUP NORD OUEST	1 200	R 100	~ 1 500							

ESSONNE

D E P A R T E M E N T : E S S O N N E

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
ATHIS-MONS (Les Clos)	1.727	1.037 RD 690 sol	2.500					X		
ATHIS-MONS (Le Noyer Renard)	1.795	165 RD 1.630 sol	3.280				X	X		
BRUNOY (Hautes Mardelles)	1.011	sol	1.800					X		
BRUYERE LE CHATEL (C.E.A.)				X						
CHILLY MAZARIN (Bel Abord)	2.341	1.489 RD 852 sol	3.500							X
CHILLY MAZARIN (Grand Jardin)	1.802	344 RD 964 sol	3.000				X			X
CORBEIL ESSONNES (Les Tarterets)	3.340	RD	5.300				X		X	
CORBEIL ESSONNES (Montconseil)	1.375 + Hôpital	925 RD 450 sol	2.000					X		
DRAVEIL (Orme des Mazières)	2.741 + Hôpital	735 RD 2.006 sol	4.670				X	X		
EPINAY-SUR-ORGE - Ste GENEVIEVE (Hôpital du Vaucluse)	1.500 à 2.500	RD	2.500 à 4.000						X	

DEPARTEMENT : ESSONNE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
EPINAY-SOUS-SENART (La Plaine et les Gerbeaux)	3.277	sol	4.650				X	X		
EVRY - Ville Nouvelle (ZAC du Canal)	3.112 (à constr.)	Basse température	4.950 *		X			X		
EVRY - Ville Nouvelle (ZAC des Epinettes)	2.800	RD	4.500 *						X	
EVRY - Ville Nouvelle (ZAC des Aunettes)	3.100 (dont 2500 à constr.)	260 RD 2.840 bas. température	4.300 *							X
EVRY - Ville Nouvelle (2è + 3è tranche EVRY 1)	3.600 (dont 3000 à constr.)	600 RD 3.000 bas. température	5.000 *					X		
EVRY - Ville Nouvelle (ZAC d'Orangis)	2.900 (dont 2100 à constr.)	Basse température	4.000 *					X		
FLEURY-MEROGIS (Centre pénitentiaire)	4.200	sol + air	6.000 *					X		
GRIGNY (Grande Borne)	3.685	RD	4.900				X	X		
GRIGNY (Grigny II)	5.000	sol	7.500 *					X		
LONGJUMEAU (Sud)	1.919	300 RD 1.619 sol	2.600				X	X		

DEPARTEMENT : ESSONNE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
MASSY (Grands ensembles)	9.653	5.483 RD 4.170 sol	14.000				X		X	
MASSY (Z.I. des petits champs ronds)	?	?	?						X	
MONTGERON (Prairies de l'Oly)	3.000	1.000 2.000	4.500 *		X			X		
PALAISEAU (Ecole Polytechnique)	2.000	RD + aérotherm.	3.000 *						X	
PALAISEAU (Nord)	1.850	1.230 RD 620 sol	3.000						X	
RIS-ORANGIS (Le Plateau)	3.000	200 RD 2.800 sol	5.600		X			X		
Ste GENEVIEVE DES BOIS (Les Lunettes)	1.806	sol	2.600				X	X		
St MICHEL sur ORGE (Bois des Roches)	3.500	sol	6.600				X	X		
SAVIGNY sur ORGE (Grand Vaux)	1.515	sol	2.500 *					X		
SAVIGNY + MORSANG + VIRY CHATILLON (Groupe Orge)	1.500	600 RD 900 sol	2.500 *					X		

HAUTS DE SEINE

(Inventaire géothermie profonde)

D E P A R T E M E N T : HAUTS DE SEINE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
ANTONY (Quartier de Beauvallon)	?	RD + sol	?							X
ASNIERES (Nord)	3.645	1.270 RD 1.560 sol	5.500				X	X		
BAGNEUX (Nord)	4.000	3.600 RD 444 sol	6.500 *					X		
BAGNEUX (Sud)	4.000	RD	6.500 *					X		
CHATENAY-MALABRY (La butte Rouge)	5.850	4.507 RD 1.343 sol	9.300			X			X	
CLAMART	2.245	RD	4.500 *						X	
COLOMBES (Hôpital)	2.505	700 RD 1.805 sol	4.500 *					X		
GARCHÈS VAUCRESSON	1.200	divers	?			X			X	
GENNEVILLIERS (La Madeleine)	4.150	350 RD 3.800 sol	7.500 *			X		X		
GENNEVILLIERS (Le Luth)	3.000	1.412 RD 1.588 sol	5.500 *			X		X		

D E P A R T E M E N T : H A U T S D E S E I N E

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
ISSY LES MOULINEAUX	1.020	160 RD 860 sol	2.000 *			X			X	
LE PLESSIS ROBINSON (OPHLMIRP)	4.800	3.845 RD 955 sol	7.000			X	X		X	
MEUDON LA FORET	5.628	2.628 RD 3.000 sol	9.000 *		X			X		
MONTROUGE	2.460	RD	5.000 *						X	
NANTERRE (Chemin de l'Ile)	2.150	695 RD 1.455 sol	2.500				X	X		
NANTERRE (Fontelles)	2.206	263 RD 1.943 sol	4.500 *					X		
NANTERRE (Les Paquerettes)	1.910	300 RD 1.610 sol	3.000 *					X		
NANTERRE (Préfecture)	2.541	400 RD 2.141 sol	4.800 *					X		
PUTEAUX (Lorilleux)	1.327	sol	2.500 *					X		
RUEIL MALMAISON	2.200	1.018 RD 1.182 sol	4.000 *					X		

PARIS

DEPARTEMENT : PARIS

(* Consommations estimées)

ARRONDISSEMENTS (Noms des opérations)	Nombre d'équiva- lents logements	Emetteurs de chaleur	Consomma- tions totales en TEP	Opérations réalisées	Opéra- tions en cours de réalisa- tion	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études prélimi- naires	Classement des opérations		
								A	B	C
12ème - 20ème (Haut Bel Air)	5.400	5.200 RD 200 sol	8.660							X
12ème (Bel Air - Picpus)	1.700	Rad	2.720							X
12ème (Haut Picpus)	4.800	4.400 RD 400 sol	7.760						X	
13ème (Olympiades)	3.100	Rad	4.910							X
13ème (Massena Choisy Est)	2.800	Rad	4.410						X	
13ème (Massena Choisy Ouest)	2.000	Rad	3.280						X	
13ème (Nationale)	4.100	3.800 RD 300 sol	6.560						X	
13ème (Galaxie)	2.785	Rad	4.460							X
13ème (Maisons Blanches)	2.575	Rad	4.120						X	
13ème (Gare)	1.200	Rad	1.950							X

D E P A R T E M E N T : P A R I S

(* Consommations estimées)

ARRONDISSEMENTS (Noms des opérations)	Nombre d'équiva- lents logements	Emetteurs de chaleur	Consomma- tions totales en TEP	Opérations réalisées	Opéra- tions en cours de réalisa- tion	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études prélimi- naires	Classement des opérations		
								A	B	C
14ème (Cité Universitaire - Porte d'Orléans)	5.850	5.150 Rd 700 sol	9.360						X	
14ème (Bas Plaisance)	4.100	Rad	6.560						X	
16ème (Porte de Saint Cloud)	5.200	Rad.	6.400		X				X	
17ème (Porte d'Asnières)	2.400	2.140 RD 260 sol	3.850							X
17ème (Epinettes)	2.365	1.850 RD 515 sol	3.780							X
17ème - 18ème (Porte de Clignancourt)	2.395	1.600 RD 795 sol	3.830							X
18ème (Chapelle - Centre, Gazomètre)	1.775	1.580 RD 195 sol	2.840							X
19ème (La Villette)	2.447	2.291 RD 156 sol	5.630			X			X	
19ème (Haut Amérique)	3.430	Rad	5.490						X	
19ème - 20ème (Bas Amérique)	2.950	Rad	3.720							X

SEINE ET MARNE

D E P A R T E M E N T : S E I N E E T M A R N E

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
AVON (Butte Montceau)	3.505	720 RD 2.785 sol	4.400					X		
BRIE COMTE ROBERT GRISY-SUISNES	4.145	741 RD 3.404 sol	5.200				X	X		
CHELLES	5.093	3.978 RD 1.115 sol	6.300				X	X		
COULOMMIERS (Plateau du Theil)	3.696	1.496 RD 2.200 sol	3.500	X				X		
DAMMARIE LES LYS (ZUP)	4.061	3.801 RD 260 sol	5.300					X		
FONTAINEBLEAU (Ecole des Mines)	2.400	RAD	3.000		X			X		
GRETZ ARMAINVILLIERS	1.509	492 RD 1.017 sol	1.900					X		
LAGNY	2.665	1.338 RD 1.327 sol	3.300					X		
LE MEE SUR SEINE (ZAC des Courtilleiraies)			3.100 TEP économisées	X				X		
MARNE LA VALLEE - VILLE NOUVELLE (ZAC de Segrais et de Croissy)	3.000 (à constr.)	Basse température	4.500				X	X		

D E P A R T E M E N T : S E I N E E T M A R N E

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
MEAUX (Beauval) (2 doublets)	10.190	7.576 RD 2.614 sol	17.000		X			X		
MEAUX (Hôpital)	3.316	3.126 RD 190 sol	5.833		X			X		
MEAUX (Collinet)	2.567 logt + équipem.	713 RD 1.854 sol	5.200		X			X		
MELUN (L'Almont)	2.596	RAD + sol	4.200	X				X		
MELUN (Quartier Nord)	5.797	5.234 RD 563 sol	7.200				X	X		
MELUN-SENART - VILLE NOUVELLE (ZAC de la Grange du Bois)	2.900 (à constr.)	Basse température	3.600				X	X		
MELUN-SENART - VILLE NOUVELLE (Bois des Saints Pères)	3.000 (en projet)	Basse température	3.800					X		
MELUN-SENART - VILLE NOUVELLE (Montbreau)	3.000 (en projet)	Basse température	3.800					X		
MELUN-SENART - VILLE NOUVELLE (Moissy-Cramayel)	3.500 (en projet)	Basse température	4.500					X		
MELUN-SENART - VILLE NOUVELLE (Combes Sud - Lieusaint)	4.000 (en projet)	Basse température	5.200					X		

SEINE SAINT DENIS

D E P A R T E M E N T : S E I N E S A I N T D E N I S

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
AUBERVILLIERS (Pont Blanc - La Frette)	4.500	3.300 RD 1.200 sol	5.500 *							X
AULNAY/BOIS (Rose des vents, Merisiers, Etangs)	5.600	4,550 RD 1.050 sol	10.000		X			X		
AULNAY/BOIS (Ambourget et Gros Saule)	3.800	2.150 RD 1.650 sol	6.050				X	X		
AULNAY/BOIS (Quartier Hôpital)	4.570	RAD	7.700				X	X		
BAGNOLET (Malassis - Pierre Curie)	2.599	sol	5.000 *							X
BLANCMESNIL (Nord)	3.200	600 RD 2.600 sol	4.600			X		X		
BLANCMESNIL (Sud)	3.550	1,760 RD 1,790 sol	4.745				X		X	
BOBIGNY (Nouveau Village)	2.020	1.510 RD 510 sol	3.000 *						X	
BONDY (Noue Caillet)	4.177	877 RD 3.300 sol	6.300 *			X				X
BONDY (Centre)	2.779	529 RD 2.250 sol	4.222 *				X			X

D E P A R T E M E N T : S E I N E S A I N T D E N I S

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
CLICHY/BOIS (Chêne Pointu)	3.400	1.190 RD 2.210 sol	5.800		X			X		
DUGNY	2.500	Individuels et divers	4.250							X
EPINAY/SEINE Orgemont	3.855	RAD	4.900							X
EPINAY/SEINE (les Econdeaux, les Presles)	2.885	1.525 RD 1.360 sol	3.300 *							X
GAGNY	1.953		3.400 *							X
LA COURNEUVE (Nord)	3.550	240 RD 1.820 sol 1.490 BT	4.540		X			X		
LA COURNEUVE (Sud)	2.900	sol	5.320		X				X	
MONTFERMEIL - CLICHY	3.500	1.200 RD 2.300 sol	4.850				X	X		
MONTREUIL - BAGNOLET	3.640		6.000 *							X
NEUILLY/MARNE - Fauvettes + Centre	3.850	RAD	6.500			X			X	

D E P A R T E M E N T : SEINE SAINT DENIS

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
NEUILLY/MARNE - Hôpitaux						X		X		
NOISY LE SEC	2.460	1.260 RD 1.200 sol	4.300 *							X
PANTIN - BOBIGNY (Courtillière)	3.600	2.070 RD 1.530 sol	6.100 *						X	
PANTIN PRE ST GERVAIS	2.720		4.000 *							X
ROMAINVILLE - LES LILAS	3.870	2.200 RD 1.670 sol	6.300 *						X	
ROSNY/BOIS (Les Marmandes)	2.660	460 RD 2.200 sol	4.400 *							X
SAINT DENIS	11.014		16.000 *							X
SAINT OUEN - ILE ST DENIS	6.000		10.000 *		Une analyse particulière est en cours				X	
SEVRAN (Rougemond - Perrin)	3.350	1.080 RD 1.920 sol divers	5.400			X		X		
SEVRAN ZAC + ZAC future	8.000		12.000 *							X

VAL DE MARNE

DEPARTEMENT : VAL DE MARNE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
ALFORTVILLE (Sud - Grand Ensemble)	2.996	1.550 RD 1.446 sol	5.000 *					X		
ALFORTVILLE (Nord)	1.249	646 RD 603 sol	2.000 *					X		
ARCUEIL (Chaperon Vert)	2.409	RAD	4.000 *					X		
BOISSY ST LEGER (La Haie - Griselle)	2.300	RAD	3.800 *						X	
BONNEUIL/MARNE (Grand Ensemble)	2.734	1.697 RD 1.037 sol	4.500 *					X		
CACHAN (La Plaine)	2.882	1.067 RD 1.815 sol	4.800 *					X		
CHAMPIGNY/MARNE (Chennevières - Bois l'Abbé)	4.770	1.110 RD 3.660 sol	7.800 *					X		
CHAMPIGNY/MARNE (Les Boulereaux)	2.730	2.105 RD 625 sol	4.500 *					X		
CHARENTON LE PONT	1.354 + future ZAC	992 RD 290 sol	2.200 *						X	
CHEVILLY LA RUE (Sorbières - Saussay)	2.361	897 RD 1.464 sol	3.800 *					X		

D E P A R T E M E N T : VAL DE MARNE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
CHOISY LE ROI	1.956	1.865 RD 91 sol	3.300 *							X
CRETEIL (Bord du Lac)	900 en cons. 2000 en projet	Basse température	4.500 *					X		
CRETEIL (Sud - Montmesly)	5.577	sol	9.000 *					X		
CRETEIL (Nord)	2.566	1.274 RD 1.292 sol + air	4.300 *					X		
FONTENAY SOUS BOIS (ZUP)	8.352	RAD	14.000 *							X
FRESNES (Sud)	3.337	1.052 RD 2.285 sol	5.500 *					X		
FRESNES (Nord)	2.069	553 RD 1.516 sol	3.500 *						X	
GENTILLY (Est)	2.016	RAD	3.500 *					X		
IVRY (Est)	3.563	RAD	6.000 *					X		
IVRY (Ouest)	3.702	1.605 RD 2.097 sol	6.000 *					X		

D E P A R T E M E N T : VAL DE MARNE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
JOINVILLE LE PONT	1.867	1.533 RD 334 sol	3.000 *					X		
KREMLIN-BICETRE	2.898	2.109 RD 789 sol	4.800 *					X		
L'HAY LES ROSES	2.104	342 RD 1.762 sol	3.500 *						X	
MAISONS-ALFORT (Nord)	1.945	1.777 RD 168 sol	3.300 *						X	
MAISONS-ALFORT (Vert de Maisons)	1.959	852 RD 1.107 sol	3.200 *					X		
MAISONS-ALFORT (Les Julliottes)	3.333	RAD	5.500 *					X		
ORLY (Cité Pierre au Prêtre)	2.920	1.620 RD 1.300 sol	5.000 *					X		
ORLY - CHOISY (Domaine des Gaziers)	2.875	875 RD 2.000 sol	5.000 *		X			X		
SUCY-EN-BRIE	2.376	625 RD 1.751 sol	4.000 *					X		
THIAIS (Sud)	1.935	544 RD 1.391 sol	3.200 *					X		

VAL D'OISE

DEPARTEMENT : VAL D'OISE

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
ARGENTEUIL (Nord)	5.400	2.265 RD 3.135 sol	5.900 *					X		
ARGENTEUIL (Sud)	4.645	2.765 RD 1.880 sol	6.700 *						X	
ARGENTEUIL - SAINT GRATIEN	4.718	1.745 RD 2.973 sol	5.800 *					X		
CERGY - VILLE NOUVELLE (ZAC de Cergy-Puiseux)	3.500 (dont 3 000 à construire)	Basse température	5.000	X				X		
CERGY - VILLE NOUVELLE (ZAC du Puiseux)	4.500	Basse température	6.000 *					X		
CERGY - VILLE NOUVELLE (ZAC du Moulin à Vent)	2.500	Basse température	3.500 *					X		
EAUBONNE - SOISY S/MONTMORENCY (Parc Mirabeau)	5.293	3.619 RD 1.674 sol	7.500 *					X		
ERMONT (Les Chênes)	3.528	1.478 RD 2.050 sol	5.300 *					X		
FRANCONVILLE (Centre)	2.414	1.674 RD 740 sol	4.200 *							X
FRANCONVILLE (Montedour - L'Epine Guyon)	2.836	1.804 RD 1.032 sol	5.200 *						X	

D E P A R T E M E N T : V A L D ' O I S E

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
GARGES-LES-GONESSE (VAN GOGH)	2.257	248 RD 2.009 sol	3.919			X		X		
GARGES-LES-GONESSE (Garges Est)	2.257	1.425 RD 832 sol	4.113			X		X		
GARGES-LES-GONESSE (Garges Ouest)	4.646	2.818 RD 1.828 sol	7.593			X		X		
GOUSSAINVILLE (Les Grandes Bornes)	2.855	500 RD 2.355 sol	5.400 *					X		
MONTIGNY LES CORMEILLES (Le Pavé de Montigny)	2.988	RD	5.200 *							X
PONTOISE (Hôpital - Les Louvrais)	3.174	2.360 RD 814 sol	5.600 *						X	
ROISSY-EN-FRANCE (Aéroport Ch. de Gaulle Module 2) Aérogare 2)	?	?	2.500 *						X	
SAINT-OUEN L'AUMONE (Centre + Brouillard)	3.000	2.215 RD 785 sol	6.000 *							X
ZUP de SANNOIS-ERMONT-FRANCONVILLE	7.063	6.159 RD 904 sol	10.000 *						X	
SARCELLES (6 opérations géothermiques potenti.)	17.310	5.252 RD 12.058 sol	28.000 *			X		X		

YVELINES

D E P A R T E M E N T : Y V E L I N E S

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
ACHERES	2.750	750 RD 2.000 sol	5.500		X			X		
AUBERGENVILLE	1.949	sol	4.200						X	
CARRIERES-SUR-SEINE	1.200	sol	1.600						X	
CHANTELOUP-LES-VIGNES (ZAC de la Noë)	2.300	RD	6.400						X	
LA CELLE SAINT CLOUD (Beauregard)	2.500	1.500 RD 1.000 sol	4.000		X			X		
LA CELLE SAINT CLOUD (Elysée I et II)	1.960	100 RD 1.860 sol	5.240			X	X	X		
LE CHESNAY (Parly 2)	7.000	sol	12.300				X	X		
LES MUREAUX (La Vigne Blanche)	4.500	3.200 RD 1.300 sol	10.500				X	X		
LES MUREAUX (SNIAS)	?	Aérothermes + RD	≈ 3.500							X
MANTES LA JOLIE (ZUP du Val Fourré)	6.800	2.000 RD 4.800 sol	22.000					X		

D E P A R T E M E N T : Y V E L I N E S

(* Consommations estimées)

VILLES (Noms des opérations)	Nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
MARLY-LE-ROI (Les Grandes Terres Montval)	3.385	1.925 RD 1.460 sol	9.000					X		
PLAISIR - LES CLAYES	4.640	4.140 RD 500 sol	10.000					X		
FOISSY (Beauregard)	3.000	2.120 RD 880 sol	3.500			X			X	
SAINT-CYR - FONTENAY-LE-FLEURY	4.700	1.100 RD 3.600 sol	9.100					X		
SAINT-GERMAIN-EN-LAYE (ZUP du Bel Air)	1.500	RD	2.600						X	
SARTROUVILLE (Le Plateau)	6.000 (dont 1000 en projet)	5.000 RD 1.000 sol	9.000			X			X	
TRAPPES (Quartier H.L.M.)	3.460	960 RD 2.500 sol	6.800				X	X		
VELIZY-VILLACOUBLAY (Ouest)	1.662	sol	3.760				X	X		
VELIZY-VILLACOUBLAY (Centre et Est)	4.938	1.650 RD 3.288 sol	11.000						X	

LANGUEDOC ROUSSILLON

PROVENCE COTE D'AZUR

(FACADE MÉDITERRANÉENNE)

LORRAINE

NORD PAS DE CALAIS

PICARDIE

Inventaire MIDI PYRENEES

VILLES (Noms des opérations)	nombre d'équivalents logements	Emetteurs de chaleur	Consommations totales en TEP	Opérations réalisées	Opérations en cours de réalisation	Opérations en cours d'études	Opérations ayant fait l'objet d'études préliminaires	Classement des opérations		
								A	B	C
AUCH										
. Cité Colmar	38	air chaud	~ 50 TEP			x				
. Cité de la Heure	66	radiateurs	~ 85 TEP			x			x	
. Cité du Garos	448	radiateurs	~ 560 TEP			x				
+ équipements publics et industriels		TOTAL =	2 820 TEP							
NOGARO										
Centre hospitalier	214 lits	TOTAL	900 TEP			x		x		
Lycée	1 200 élèves	(~ rien en logements)								
MIRANDE										
	Logements : inintéressants									
	CES + LEP + caserne					x		x		
	Lycée + hôpital + conserverie									
FLEURANCE	87	radiateurs	~ 110			x				x (non envisag.)
LECTOURE	24 + équipements collectifs							x		
	LEP + coopérative agricole							(bon ré-		
	Hôpital 50 lits + serres							serv. reconnu)		
MIELAN	24									x
	+ 1 CES 600					x				insuf. consom.

IV RESULTATS

SYNTHESE DES INVENTAIRES

TABEAU A

INVENTAIRE	BUREAU ETUDES SOUS-SOL	BUREAU ETUDES THERMIQUES	DATE DE REALISATION	INVENTAIRE SOUS-SOL : AQUIFERES ETUDIES			CARACTERISTIQUES DE L'INVENTAIRE DE SURFACE			BESOINS PRIS EN COMPTE					OPERATIONS		NOMBRE D'OPERATIONS PREVISIBILES				
				Aquifères profonds	Aquifères moyenne profondeur	Aquifères superficiels	Détaillé	Complet	Qualité	Logements sociaux	Logements futurs	Autres Logements	Industrie	Agriculture	En cours de réalisation	En fonctionnement	A	B	C	TOTAL	
ALSACE	- BRGM Landesamt Baden Württemberg	BRGM	1969 sous-sol	X	X	-	Pas d'inventaire de surface général			sur 5 communes					1 Mulhouse	0	?	-	-	?	
Auvergne (*) (Allier)	BRGM	TETA	JUIN 1980	(Sources thermales) Incertitude importante sur les aquifères profonds			Inventaire inexistant (du fait de l'incertitude sur la ressource)			X (incomplet)	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3
AQUITAINE	BRGM	BRGM	MARS 1982	X	X	-	(Inventaire réalisé en 1977)			X	-	-	quelques unes	quelques serres	4 Benaux - Mont de Marsan II Dax - Pessac Salpe	3 Mont de Marsan II - Mriadeck - Hagetaun	24	20	2	46	
CENTRE	BRGM	OET	1979	X	-	-	peu détaillé	-	peu approfondi	X (partiel)	X (partiel)	X (partiel)	X (partiel)	X (partiel)	0	1 Melleray	5	1	-	6	
CHAMPAGNE- ARDENNES (*)	BRGM	TETA	MARS 1980	X	X	-	peu détaillé	-	peu approfondi	X	X (partiel)	X	X (partiel)	X (partiel)	2 Reims Epernay	-	3	4	9	16	
I L E D E	ESSONNE (*)	BRGM	TETA	OCTOBRE 1981	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	4 Bruyères La Chapelle - Ris Orange - Evry - Montreuil	-	22	5	-	27	
	HAUTS DE SEINE	GEOTHERMA	GEOTHERMA	MAI 1979	X	X	-	peu détaillé	-	peu approfondi	X	X	-	-	-	0	1 Villeneuve La Garenne	12	6	0	18
	SEINE PAC	GEOTHERMA	OET ELISE	JUIN 1980	-	-	X	peu détaillé (surface)	-	peu approfondi	X	-	X	-	-	?	?	?	?	?	
	PARIS (*)	BRGM	BETURE	OCTOBRE 1981	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	1 Porte de St Cloud	1 Maison de la radio	0	12	11	23	
	SEINE ET MARNE (*)	BRGM	SECOTEB Ingénierie	MAI 1980	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	5 Meaux 2,3 et 4 - Fontainebleau - Provins -	4 Melun d'Alaont - Melun La Sée - Coulommiers - Meaux	7	5	3	15	
	SEINE SAINT DENIS	BRGM	BETURE	1977-1978	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 La Courmeuve Nord Sevran Blanc Mesnil Nord	3 La Courmeuve Sud Aulnay Clichy Sous Bois	11	8	14	33	
	VAL DE MARNE (*)	SPEG	SERMET	en cours	-	-	-	Résultats non encore publiés								1 Orly	0	29	6	2	36
	VAL D'OISE (*)	BRGM	BETURE	OCTOBRE 1981	X	-	-	assez sommaire (consomat. estimées)	X sauf industrie et agriculture	X	X	-	-	-	0	1 Cergy Puisseux	14	5	4	23	
	YVELINES	GEOTHERMA	GEOTHERMA	MAI 1981	X	-	-	surface sommaire	X	-	X	X	X quelques bureaux	-	2 Achères La Celle St Cloud	0	12	7	2	21	
LANGUEDOC- ROUSSILLON (PROVENCE COTE D'AZUR)	GEOTHERMA	GEOTHERMA	MAI 1981	X	X	X (pas de PAC)	X	X non exhaustif sur petites opérations	X	X	X (partiel)	X	X	X (partiel)	1 Avignon	0	17 opérations profondes 9 opérations moyenne profondeur			26	
LORRAINE	-	BRGM	-	Pas d'inventaire (sauf Meuse)			Pas d'inventaire (synthèse d'études et de préétudes)			X	-	-	-	(sauf Maizey)	0	2 Nancy thermal Lunéville	6	6	1	13	
MIDI-PYRENEES	BRGM	BRGM	JANVIER 1982	X	X	X	X	X	X	X	X (partiel)	X	X	X	1 Lamazère	2 Blagnac - St Crispin	4	9	0	13	
NORD PAS DE CALAIS	BRGM	CGC	en cours	X	-	-	-	-	X	X	-	X	X	X	0	0	3	0	0	3	
PICARDIE	GEOTHERMA	GEOTHERMA	en cours	X	X	X PAC sur aquifères superfic.	X	X non exhaustif sur petites opér.	X	X	X (partiel)	X	X	X	1 Creil 3	2 Creil 1, 2 Beauvais	3 opérations profondes 12 moyenne profondeur 13 faible profondeur			20	
POITOU CHARENTES	BRGM	-	-	Inventaire sous-sol sommaire			Pas d'inventaire surface								0	1 Jonzac	?	?	?	?	
																TOTAUX	158	130	54	342	

1*) (*) Inventaires avec coordination GEOCHALEUR

2*) Critères de faisabilité des opérations
A - Très intéressante
B - Intéressante
C - Peu intéressante.

FICHE B

FICHE RECAPITULATIVE DES BESOINS DE CHALEUR RACCORDABLES

A UN RESEAU GEOTHERMIQUE BASSE TEMPERATURE

(Synthèse des inventaires)

Région-Département	Nombre de TEP	Remarques
ALSACE	17 000	Incomplet
LORRAINE	36 400	données sommaires
CHAMPAGNE-ARDENNES	46 000	-
NORD/PAS DE CALAIS	12 400	données sommaires
PICARDIE - profond	36 700	-
- surface	26 400	-
YVELINES	146 700	-
VAL D'OISE	151 200	-
SEINE ET MARNE	129 300	-
ESSONNE	137 000	-
HAUTS DE SEINE - profond	106 600	-
- surface	35 000	-
SEINE SAINT DENIS	194 100	-
VAL DE MARNE	178300	-
PARIS	122 100	-
CENTRE	12 900	Incomplet
ALLIER	800	Incomplet
AQUITAINE	98 100	données sommaires
MIDI PYRENEES	19 200	-
LANGUEDOC-ROUSSILLON	142 200	-
PROVENCE-COTE D'AZUR		

TOTAL 1 : Besoins de chaleur raccordables à une opération de géothermie profonde = 1 586 800 TEP (y compris opérations réalisées ou en cours de réalisation)

TOTAL 2 : Avec les hypothèses mentionnées au paragraphe I.
Besoins de chaleur raccordables à une opération de géothermie profonde, moyenne profondeur ou très basse température : 2 153 350 TEP.

FICHE C

Synthèse des Inventaires

REPARTITION DES OPERATIONS DE GEOTHERMIE (en TEP consommation
actuelle raccordables ou raccordées à une opération
de géothermie)

REGION	DEPARTEMENT	TEP TOTAL	A	B	C
ILE DE FRANCE	PARIS	122.100	0	77.500	44.550
	SEINE ET MARNE	129.300	121.200	6.700	1.400
	YVELINES	146.700	101.700	38.300	6.700
	ESSONNE	136.950	90.150	40.300	6.500
	HAUTS DE SEINE	106.600	66.300	40.300	0
	SEINE ST DENIS	194.100	63.450	47.050	83.600
	VAL DE MARNE	178.300	140.400	20.600	17.300
	VAL D'OISE	151.200	99.800	30.000	21.400
TOTAUX REGIONAUX :		<u>1.165.250</u>	<u>683.000</u>	<u>300.800</u>	<u>181.450</u>
AQUITAINE	LANDES	7.779	3.975	3.217	587
	DORDOGNE	8.019	2.961	5.058	0
	GIRONDE	74.147	57.827	16.320	0
	LOT ET GARONNE	1.253	0	1.253	0
	PYRENEES ATLANTIQUES	6.884	5.000	1.124	760
	TOTAUX REGIONAUX :		<u>98.082</u>	<u>69.763</u>	<u>26.972</u>	1.347
LORRAINE	MEURTHE ET MOSELLE	7.640	1.510	3.210	2.920
	MEUSE	20.935	9.415	11.520	0
	MOSELLE	7.830	1.800	730	5.300
	TOTAUX REGIONAUX :		<u>36.405</u>	<u>12.725</u>	<u>15.460</u>	8.220

Sur la fiche C a été effectuée une répartition selon l'intérêt qu'il y a ou qu'il y aurait de réaliser l'opération géothermique (*) :

Tableau A : Opération très intéressante (caractéristiques très favorables des consommateurs potentiels et de la ressource).

Fiche B : Opération intéressante.

Fiche C : Opération à caractéristiques moins favorables que dans les deux autres cas mais envisageable.

Ainsi, pour les deux grands poles du développement de la géothermie basse énergie (Bassin Parisien et Bassin Aquitain), il est possible de constater que sur les 1.263.000 TEP raccordables (ou déjà raccordées) à une opération de géothermie la répartition est la suivante :

Tableau A :	753.000	soit 60 %
Fiche B :	328.000	soit 26 %
Fiche C :	183.000	soit 14 %

(*) NB : Cette distinction n'a pu être faite que pour l'Ile de France, l'Aquitaine et la Lorraine. Les données disponibles sur les autres régions ne permettent pas en effet d'apprécier la faisabilité des différentes opérations.

Synthèse des Inventaires

Remarques sur les fiches B et C

Certaines opérations réalisées ou prévisibles n'ont pas été comptabilisées (manque de données sur la consommation totale avant raccordement à la géothermie).

DEPARTEMENT - REGION	OPERATION
SEINE ET MARNE	Le Mée/Seine
ESSONNE	Bruyères Le Chatel Massy (Petits champs ronds)
HAUTS DE SEINE	Antony Garches Vaucresson Sceaux (Nord)
SEINE SAINT DENIS	Neuilly/Marne (Hôpitaux)
VAL DE MARNE	Villecresne (Serres)

A N N E X E 4

EVALUATION DE LA CONTRIBUTION DE LA GEOTHERMIE PAR
CONFRONTATION DES RESSOURCES ET DES BESOINS, EVALUES
A PARTIR DE LA STRUCTURE DE L'HABITAT EN 1990

TABLE DES MATIERES

		Pages
CHAPITRE	I - <u>PRINCIPE</u>	1
CHAPITRE	II - <u>ETUDE DU PARC DE LOGEMENTS FRANCAIS</u>	2
II.1.	<u>Logements construits avant 1975</u>	3
II.2.	<u>Logements construits entre 1975 et 1981</u>	4
II.3.	<u>Evaluation des nombres de logements collectifs et individuels groupés construits entre 1982 et 1990</u>	6
II.4.	<u>Les résultats</u>	7
CHAPITRE	III - <u>EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE FRANCAIS</u>	8
III.1.	<u>Données et méthodes</u>	8
III.2.	<u>Résultats</u>	10

I - PRINCIPE

L'évaluation du potentiel géothermique français à l'horizon 1990 a été effectuée par confrontation entre, d'une part les besoins énergétiques calculés à partir du parc des logements raccordables à la géothermie en 1990 et d'autre part des ressources géothermiques existant au droit de ces logements. N'ont été prises en compte que les communes dont il n'est pas exclu que le sous-sol renferme des ressources géothermiques à plus de 30° C. (cf carte n° 1).

Compte tenu de la spécificité des critères de faisabilité d'une opération de géothermie (nombre minimum de logements raccordables, concentration de l'habitat nécessaire), seules ont été étudiées les communes comprenant (au 01/03/1975) :

- plus de 1 000 résidences principales faisant partie d'un immeuble(*) d'au moins 6 logements pour les régions à ressources géothermiques favorables (température supérieure à 50° C) ;
- plus de 500 résidences principales ayant les mêmes caractéristiques que précédemment pour les régions dont les ressources géothermiques sont essentiellement des ressources 30 - 50° C.

Les régions concernées sont : Lorraine, Bourgogne Aquitaine, Franche-Comté, Poitou Charentes, Midi Pyrénées.

Les trois critères qui viennent d'être présentés ont permis de sélectionner 581 communes dont :

- 357 pour le Bassin parisien (232 en Ile de France et 125 pour les 6 autres régions de programme situées au moins en partie dans ce Bassin : Lorraine, Champagne - Ardennes, Centre, Picardie, Bourgogne et Haute-Normandie) ;
- 55 pour le Bassin aquitain (que recouvrent les trois régions de programme de l'Aquitaine, de Midi-Pyrénées et de Poitou-Charentes) ;
- 14 pour le fossé alsacien (Alsace) ;

(*) Au sens de l'INSEE, un immeuble d'au moins 6 logements est une cage d'escalier R + 2.

- 155 communes urbaines pour les autres bassins ou fossés géothermiques réparties en :
 - . 55 communes pour la Provence (Provence-Côte d'Azur),
 - . 42 communes pour la Bresse et le couloir rhôdanien (Rhônes-Alpes),
 - . 21 communes pour la Franche-Comté,
 - . 20 communes pour le Roussillon (Languedoc-Roussillon)
 - . 9 communes pour le Nord (Nord-Pas-de-Calais),
 - . 8 communes, enfin, pour la Limagne (Auvergne).

II - ETUDE DU PARC DE LOGEMENTS FRANCAIS

Afin de cerner les caractéristiques du parc de logements en France tel qu'il sera en 1990 et compte tenu des données disponibles, nous avons distingué les logements selon leur date de construction. Trois grandes périodes ont ainsi été individualisées :

1°) Logements construits avant 1975

Les données existantes sur ces logements ont été fournies par l'INSEE à partir du recensement général de 1975 (RP 75) (les données du recensement de mars 1982 n'étant pas encore disponibles).

2°) Logements construits entre 1975 et 1981

Les logements construits entre le dernier recensement et aujourd'hui ont pu être pris en compte grâce aux données de l'association BATISSEUR(*)

3°) Logements à construire entre 1982 et 1990

Des hypothèses sommaires sur l'évolution, dans le futur, du parc de logement ont été faites après consultation d'experts.

(*) BATISSEUR : Bureau d'Accumulation et de Traitement des Informations et des Statistiques servant aux Etudes Urbaines : Association loi de 1901 formée par SCIC, SCET, Fédération Nationale du Bâtiment et le Ministère de l'urbanisme et logement pour conserver et analyser toutes les données sur l'urbanisme en France.

II.1. Logements construits avant 1975

a) Les données

Le RP 75 permet, entre autre, de distinguer trois groupes de logements :

- logements construits avant 1949 ;
- logements construits entre 1949 et 1961 inclus ;
- logements construits entre 1962 et 1975.

Pour ces trois groupes, l'INSEE nous a communiqué les données suivantes sous la forme du tableau n° 1 présenté ci-après pour chacune des communes sélectionnées :

- population au 1er mars 1975 ;
- superficie ;
- nombre de résidences principales en immeubles collectifs (N) ;
- nombre de résidences principales en immeubles collectifs ayant la propriété P, à savoir : appartenir à un immeuble d'au moins 6 logements. Cette donnée est notée NP (NP > 1 000, ou NP > 500, selon la région) ;
- la répartition de NP par période et mode de chauffage (urbain, central collectif ou central individuel). Cette décomposition fournit donc 9 paramètres (3 périodes et 3 modes de chauffage) : NPC1, NPU1, NPI1, NPC2, NPU2, NPI2, NPC3, NPU3, et NPI3. On a enfin les relations suivantes :

$$\text{NPC1} + \text{NPU1} + \text{NPI1} = \text{NP1}$$

$$\text{NPC2} + \text{NPU2} + \text{NPI2} = \text{NP2}$$

$$\text{NPC3} + \text{NPU3} + \text{NPI3} = \text{NP3}$$

$$\text{NPC1} + \text{NPC2} + \text{NPC3} = \text{NPC}$$

$$\text{NPU1} + \text{NPU2} + \text{NPU3} = \text{NPU}$$

$$\text{NPI1} + \text{NPI2} + \text{NPI3} = \text{NPI}$$

$$\text{et NP} = \text{NP1} + \text{NP2} + \text{NP3} = \text{NPC} + \text{NPU} + \text{NPI}$$

b) Evaluation du nombre des résidences principales en immeuble collectif d'au moins 6 logements à chauffage central collectif ou urbain, construits avant 1975

Nous considérons dans la présente évaluation que seuls sont raccordables à une opération de géothermie les logements en collectifs ayant la propriété P (cf III.1.a) et équipés d'un chauffage central collectif ou urbain.

En effet, pour des raisons de coût, il est très difficile d'envisager de transformer des installations de chauffage individuel.

Pour les trois premières périodes, le tableau INSEE donne directement l'évaluation qui nous intéresse :

- logements construits en 1949 : NPC1 + NPU1
- logements construits entre 1949 et 1961 : NPC2 + NPU2
- logements construits entre 1961 et 1975 : NPC3 + NPU3.

II.2. Logements construits entre 1975 et 1981

a) Les données

Les données provenant de BATISSEUR font état des logements construits depuis le 1er janvier 1975.

Il y a donc un recoupement de 2 mois entre les données de l'INSEE et celles de BATISSEUR.

Comme nous ne disposons pas de données de construction sur les deux premiers mois de 1975, et que le recoupement ne provoque probablement pas d'erreur significative dans les résultats, nous ne tiendrons pas compte de ce problème de limite entre les 2 séries de données.

Pour cette période, les données de BATISSEUR sont pour chaque année (de 1975 à 1981 inclus) et pour chaque commune :

- le nombre de logements collectifs terminés l'année j, et noté $nc(j)$;
- le nombre de logements individuels purs (ou diffus) terminés l'année j, $ni(j)$;
- le nombre de logements individuels groupés terminés l'année j, $ng(j)$;
- le nombre total de logements terminés l'année j, $n(j)$.

Avec $n(j) = nc(j) + ni(j) + ng(j)$

b) Evaluation du nombre de résidences principales en immeuble collectif ayant la propriété P, à chauffage central collectif ou urbain et construits durant la période 1975-1981.

Cette évaluation repose sur l'hypothèse simplificatrice que la proportion annuelle des résidences principales en immeuble collectif d'au moins 6 logements est restée identique pour cette quatrième période à celle de l'ensemble des trois périodes précédentes. Ceci se traduit par l'égalité suivante pour chaque commune X :

$$npc(X,j) = nc(X,j) \frac{NP(X)}{N(X)} \quad j : \text{indice de l'année} \\ j \in (75,81)$$

On définit alors le nombre de logements collectifs d'au moins 6 logements terminés l'année j dans la commune X et pourvus d'un chauffage central par :

$$\text{npc}(X, j) = 1,2 \times x(j) \times \text{nc}(X, j)$$

où $x(j)$ est la proportion des logements collectifs à chauffage central collectif dans le total des logements collectifs de l'année j.

Les valeurs de $x(j)$ sont des moyennes nationales relatives aux seules résidences principales établies par l'agence pour les économies d'énergie pour les années de 1975 à 1980 incluses ; la valeur de $x(1981)$ a, elle, été extrapolée. La liste de ces sept valeurs est la suivante :

$x(1975)$	=	0,82
$x(1976)$	=	0,62
$x(1977)$	=	0,48
$x(1978)$	=	0,34
$x(1979)$	=	0,26
$x(1980)$	=	0,23
$x(1981)$	=	0,20

Le résultat est arbitrairement multiplié par 1,2 car les logements considérés sont dans des immeubles de plus de 6 logements, donc relevant plutôt de grosses opérations immobilières, dans lesquelles le chauffage collectif pénètre plus que dans les petites opérations. Aucune donnée précise ne permet de quantifier ce phénomène.

Le calcul du nombre de résidences principales en immeubles collectifs d'au moins 6 logements à chauffage central collectif ou urbain et construits durant la quatrième période donne (pour chaque commune X) :

$$\begin{aligned} (\text{NPC4} + \text{NPU4})(X) &= \sum_{j=1975}^{1981} \text{npc}(X, j) \\ &= \sum_{j=1975}^{1981} 1,2 \cdot x(j) \cdot \text{nc}(X, j) \cdot \frac{\text{NP}(X)}{\text{N}(X)} \\ &= 1,2 \frac{\text{NP}(X)}{\text{N}(X)} \cdot \sum_{j=1975}^{1981} x(j) \cdot \text{nc}(X, j) \end{aligned}$$

Pour chacune des communes, ce calcul a été effectué.

II.3. Evaluation des nombres de logements collectifs et individuels groupés construits entre 1982 et 1990

Cette évaluation repose sur les deux hypothèses suivantes. D'une part, le volume annuel de construction s'élèvera à 400.000 logements durant la période considérée. Ce chiffre semble constituer une limite supérieure du volume de la construction à venir au juger de son ralentissement présent. D'autre part, la proportion des logements d'un type donné (collectif, individuel pur, individuel groupé) réalisée l'année j dans une commune donnée, et ramenée au volume de la construction de l'année correspondante (400 000) reste la même que celle des logements du même type réalisés entre 1975 et 1981 dans cette même commune, ramené au volume de la construction totale de ces années.

Les logements individuels groupés qui seront construits entre 1982 et 1990 pourront présenter des caractéristiques qui leur permettront d'être éventuellement raccordés à une opération de géothermie.

Aussi, ces logements ont-ils été dénombrés afin d'en connaître, par région, l'importance exacte.

Dans la suite de l'étude ces logements ne seront toutefois pas intégrés directement au parc de logements raccordables à la géothermie.

On obtient donc, pour chaque année comprise entre 1982 et 1990 inclus :

$$n(j) = \sum_{j=1975}^{1981} n(j) \cdot \frac{400\ 000}{\sum_{j=1975}^{1981} N(j)}$$

$$nc(j) = \sum_{j=1975}^{1981} nc(j) \cdot \frac{400\ 000}{\sum_{j=1975}^{1981} N(j)}$$

$$ng(j) = \sum_{j=1975}^{1981} NG(j) \cdot \frac{400\ 000}{\sum_{j=1975}^{1981} N(j)}$$

Les valeurs de $Nc5$ s'obtiennent par multiplication par 9 (chiffre correspondant au nombre d'années de la période considérée) des valeurs de $nc(j)$ et $ng(j)$. On adopte :

$$j = \sum_{j=1975}^{1981} N(j) = 3\ 300\ 000$$

$$\text{soit : } \frac{400\ 000}{\sum_{j=1975}^{1981} N(j)} \neq 0,12$$

Les nombres de logements collectifs et individuels groupés construits durant la cinquième période s'identifient en définitive à :

$$Nc5 = 1,08 \sum_{j=1975}^{1981} nc(j)$$

$$Ng5 = 1,08 \sum_{j=1975}^{1981} ng(j)$$

On considère donc que l'intégralité de ces deux types de logements seront équipés de systèmes de chauffage leur permettant d'être raccordés à la géothermie.

II.4. Les résultats

Les résultats donnant par région le nombre de logements ayant les caractéristiques précédemment définies (propriété P, type de chauffage etc...) sont présentés pour les 5 périodes sur les tableaux suivants (tableau 2 et 3).

RAPPEL DE LA SIGNIFICATION DES TERMES DES TABLEAUX :

NPC 1, 2, 3, 4	Nombre de logements collectifs ayant la propriété P (appartenir à un immeuble d'au moins 6 logements -au sens de l'INSEE-), étant équipés d'un chauffage collectif, et construits durant les périodes ; 1 : avant 1949 2 : de 1949 à 1961 3 : de 1962 à 1975 4 : de 1975 à 1981
NPU 1, 2, 3, 4	Nombre de logements collectifs ayant la propriété P (appartenir à un immeuble d'au moins 6 logements -au sens de l'INSEE-), raccordés à un chauffage urbain et construits durant les périodes 1, 2, 3 et 4.
Nc 5	Nombre de logements collectifs à construire entre 1982 et 1990.
Ng5	Nombre de logements individuels groupés à construire entre 1982 et 1990.

Les résultats par "régions" géothermiques sont
(valeurs arrondies) :

- BASSIN PARISIEN (hors PARIS) :	2.228.000 logements
- BASSIN AQUITAIN :	252.000 logements
- AUTRES BASSINS OU FOSSES :	1.159.000 logements
TOTAL FRANCE :	3.639.000 logements.

III - EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE FRANCAIS

III.1. Données et méthodes

Conformément à ce qui a été présenté au paragraphe 1 et disposant d'une part du parc communal de logements raccordables à la géothermie en 1990 et d'autre part des données de ressource géothermique (température, débit pour différents aquifères) il a été possible de procéder à la mise en parallèle ressources/besoins afin d'estimer quelles pouvaient être les économies d'énergie obtenues grâce à la géothermie en 1990.

Différentes hypothèses ont été faites lors de l'étude de chacune des 581 communes sélectionnées. On a multiplié par 1,5 le nombre de logements raccordables, pour tenir compte des applications de la géothermie dans les secteurs tertiaires, agricoles et industriels.

Par logement raccordable à la géothermie, nous entendons logement appartenant à l'un des 7 groupes suivants : NPC2, NPU2, NPC3, NPU3, NPC4, NPU4, NC5.

Les logements construits avant 1949 n'ont pas été retenus pour des raisons de vétusté du parc, de position en centre ville, et de dispersion des propriétaires. N'ont également pas été retenus dans le cadre de cette estimation les logements individuels groupés, à construire à partir de 1981.

Les estimations effectuées se basent sur une politique de développement maximal de la géothermie et ne préjugent pas du caractère favorable ou défavorable du contexte politique, économique et financier local vis à vis d'une éventuelle opération de géothermie.

- Selon les caractéristiques des réservoirs, les ratios suivants ont été utilisés :

- . Nature du réservoir et température du fluide géothermal

- * TRIAS DOGGER 1 TEP économisée par équivalent-logement raccordé si la température est supérieure à 55° C.
- * LUSITANIEN 0,75 TEP par équivalent-logement (avec un réservoir à température comprise entre 40 et 55° C).
- * ALBIEN NEOCOMIEN 0,50 TEP par équivalent-logement (avec un réservoir à température de 30 à 40° C).

Ces critères sont ceux retenus pour le Bassin Parisien et, par extension pour les aquifères des autres bassins ou fossés.

- . Débit possible

- * Si le débit géothermal est supérieur à 200 m³/h ou raccorde 100 % des logements thermiquement raccordables.
- * Si le débit est compris entre 150 et 200 m³/h ou raccorde 2/3 des logements thermiquement raccordables.
- * Si le débit est compris entre 100 et 150 m³/h ou raccorde 1/2 des logements thermiquement raccordables.

- Afin de prendre en compte les problèmes de disponibilité d'une surface de réservoir suffisante pour réaliser une opération de géothermie (cas des communes à habitat très dense), on a considéré que l'emprise d'un doublet était de 200 ha.
- Pour le cas du Bassin Parisien, les opérations de géothermie ne sont envisageables que si l'on arrive à un nombre de logements raccordables permettant d'économiser au moins ;
 - . 2 500 TEP pour un doublet au DOGGER
 - . 2 000 TEP pour un doublet au LUSITANIEN
 - . 2 500 TEP pour un doublet au TRIAS (profond)
 - . 1 000 TEP pour un puits unique TRIAS peu profond (Lorraine) (ou aquifère équivalent)
 - . 500 TEP pour un puits unique ALBIEN ou NEOCOMIEN.
- Lorsque les résultats de la mise en parallèle ressource/besoin ont fait apparaître des opérations où l'économie énergétique était inférieure à 500 TEP, il n'a pas été tenu compte de ces opérations dans le bilan énergétique final (ces opérations sont intégrées dans les opérations de géothermie très basse température, avec fluide géothermal inférieur à 30° C).

- Les calculs ont été faits pour les régions où nous disposons de données suffisantes sur les ressources du sous-sol. Ainsi, les résultats sont complets sur les régions suivantes :

- . Ile de France
- . Lorraine
- . Champagne-Ardennes
- . Centre
- . Picardie
- . Haute Normandie
- . Poitou-Charentes
- . Midi-Pyrénées
- . Aquitaine.

Il n'a par contre pas été possible de faire un travail identique sur les régions suivantes et ce, par manque de données sur les ressources géothermiques :

- . Languedoc-Roussillon
- . Provence-Côte d'Azur
- . Alsace
- . Rhône-Alpes
- . Nord-Pas de Calais
- . Auvergne.

Pour confronter ressources en chaleur fournies par géothermie, et besoins raccordables, il a été établi pour chaque commune une fiche permettant le diagnostic (cf tableau 4).

III.2. Résultats

Les résultats sont présentés par département sur les tableaux n° 5 et 6.

Les principaux résultats sont :

- Bassin Parisien	1.807.300 TEP	économisables par géothermie
- Bassin Aquitain	161.600 TEP	économisables par géothermie
<hr/>		
TOTAL	1.968.900 TEP	économisables par géothermie

Ce potentiel se ventile de la manière suivante selon le niveau de connaissance de la ressource :

DEGRE DE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE	POTENTIEL	NOMBRE DE TEP ECONOMISABLES
Bon	Prouvé	1.125.800
Moyen	Probable	447.500
Faible	Possible	395.600
	TOTAL	1.968.900

TABLEAU N° 1 : FICHE INSEE DE LA STRUCTURE DU PARC DE LOGEMENTS COMMUNAL

COMMUNE

DEPARTEMENT

REGION DE PROGRAMME

POPULATION 1975

SUPERFICIE

NOMBRE TOTAL DE RESIDENCES PRINCIPALES EN IMMEUBLES COLLECTIFS :

PERIODE	< 1949	1949-1961	1962-1975	
MODE DE CHAUFFAGE				
CENTRAL COLLECTIF	NPC1	NPC2	NPC3	NPC
URBAIN	NPU1	NPU2	NPU3	NPU
CENTRAL INDIVIDUEL	NPI1	NPI2	NPI3	NPI
	NP1	NP2	NP3	NP

LES DEPARTEMENTS DU BASSIN PARISIEN

REGION DE PROGRAMME	Période	Avant 49	49-75	75-81	82-90	82-90
		NPC1 + NPU1	+ NPC2 + NPU2 + NPC3 + NPU3	NPC4 + NPU4	Nc 5	Ng 5
ILE DE FRANCE		300.723	1.034.403	114.971	196.439	14.446
Seine et Marne (77)		2.944	47.706	6.206	14.011	4.315
Yvelines (78)		98.302	138.138	16.256	32.248	1.923
Essonne (91)		43.213	107.843	7.888	16.974	1.527
Hauts de Seine (92)		90.893	243.620	27.656	17.259	403
Seine Saint Denis (93)		28.087	199.406	26.765	52.273	780
Val de Marne (94)		31.685	194.986	17.717	36.237	424
Val d'Oise (95)		5.599	102.704	12.483	27.437	5.074
LORRAINE		6.989	71.178	7.984	21.627	2.916
Meurthe et Moselle (54)		3.664	32.400	3.884	10.760	1.522
Meuse (55)		642	4.015	507	1.703	244
Moselle (57)		2.683	34.763	3.593	9.164	1.150
CHAMPAGNE-ARDENNES		2.273	47.675	6.014	13.473	3.717
Marne (51)		2.126	38.265	5.485	11.995	1.725
Haute-Marne (52)		147	9.410	529	1.478	1.992
CENTRE		5.053	74.293	11.473	28.443	5.353
Cher (18)		983	10.501	988	3.179	576
Indre (36)		289	6.709	1.065	2.512	435
Indre et Loire (37)		1.274	24.981	3.944	9.012	1.554
Loir et Cher (41)		542	8.658	1.354	3.117	503
Loiret (45)		1.965	23.444	4.122	10.623	2.285
PICARDIE		3.234	54.484	7.520	17.329	2.188
Aisne (02)		479	9.563	1.587	3.841	628
Oise (60)		1.832	30.851	4.797	10.198	1.045
Somme (80)		923	14.070	1.136	3.290	515
BOURGOGNE		3.679	57.714	7.273	18.501	1.837
Côte d'Or (21)		1.977	30.590	4.055	9.668	1.323
Nièvre (58)		81	1.027	123	344	140
Saone et Loire (71)		1.116	18.021	2.326	6.358	189
Yonne (89)		505	7.876	769	2.131	185
HAUTE NORMANDIE		4.262	52.718	7.958	18.580	1.437
Eure (27)		351	4.800	980	2.059	112
Seine Maritime (76)		3.911	47.918	6.978	16.521	1.325
TOTAL BASSIN PARISIEN (hors Paris)		326.213	1.392.465	163.193	314.392	31.894

TABLEAU 3 : NOMBRE DE LOGEMENTS PAR PERIODE ET TYPE DE LOGEMENT POUR LE
BASSIN AQUITAIN ET AUTRES BASSINS OU FOSSES

REGION DE PROGRAMME	Période	Avant 49	49-75	75-81	82-90	82-90
		NPC1 + NPU1	+ NPC2 + NPU2 + NPC3 + NPU3	NPC4 + NPU4	Nc 5	Ng 5
BASSIN AQUITAIN						
AQUITAINE		6.872	86.305	13.901	41.375	3.989
Dordogne (24)		391	3.731	497	2.134	312
Gironde (33)		3.627	51.293	8.921	24.454	2.960
Landes (40)		150	3.042	259	1.439	342
Lot-et-Garonne (47)		502	3.499	241	898	53
Pyrénées Atlantique (64)		2.202	24.740	3.983	12.450	322
MIDI PYRENEES		6.088	56.879	7.502	16.623	1.938
Haute Garonne (31)		5.173	48.003	6.715	14.440	1.565
Gers (32)		94	975	284	734	116
Hautes Pyrénées (65)		821	7.901	503	1.449	257
POITOU-CHARENTES		380	6.807	748	2.014	690
Charente (16)		380	6.807	748	2.014	690
TOTAL BASSIN AQUITAIN		13.340	149.991	22.151	60.012	6.617
AUTRES BASSINS OU FOSSES						
ALSACE		12.306	77.525	12.473	30.626	895
Bas-Rhin (67)		10.508	50.871	9.476	22.804	634
Haut-Rhin (68)		1.798	26.654	2.997	7.822	261
FRANCHE-COMTE		4.124	53.474	5.784	16.191	1.085
Doubs (25)		1.820	32.116	3.443	9.063	466
Jura (39)		1.207	9.401	1.072	3.154	263
Haute-Saône (70)		204	3.394	604	1.934	272
Territoire de Belfort (90)		893	8.563	665	2.040	84
AUVERGNE (LIMAGNE)		6.297	33.505	4.154	11.150	1.294
Allier (03)		1.929	6.331	714	2.708	97
Puy-de-Dôme (63)		4.368	27.174	3.440	8.442	1.197
NORD		961	17.628	3.379	8.635	2.077
Nord (59)		443	10.664	1.801	4.457	729
Pas de Calais (62)		518	6.964	1.578	4.178	1.348
LANGUEDOC (ROUSSILLON)		5.601	77.101	20.759	63.597	8.981
Aude (11)		546	4.161	487	2.529	1.590
Gard (30)		1.551	18.977	4.685	13.025	1.609
Hérault (34)		2.716	41.023	13.227	39.445	4.576
Pyrénées-Orientales (66)		788	12.940	2.360	8.598	1.206
RHONE ALPES (BRESSE ET COULOIR RHODANIEN)		10.571	137.403	15.785	36.832	3.575
Ain (01)		907	12.758	1.918	4.361	289
Drome (26)		501	19.867	1.412	3.967	1.959
Isère (38)		4.130	50.887	5.623	12.438	978
Rhône (69)		490	4.043	648	1.635	29
Savoie (73)		1.536	14.198	1.298	3.133	80
Haute-Savoie (74)		3.007	35.650	4.886	11.298	240
PROVENCE-COTE D'AZUR (PROVENCE)		40.237	288.622	43.024	93.739	10.050
Alpes de Haute Provence (04)		295	2.898	135	620	53
Alpes Maritimes (06)		23.297	113.348	17.515	38.868	1.928
Bouches du Rhône (13)		15.429	149.828	22.221	45.665	6.817
Var (83)		341	4.430	1.282	3.882	103
Vaucluse (85)		875	18.118	1.871	4.704	1.149
TOTAL AUTRES BASSINS OU FOSSES		80.097	685.258	105.358	260.770	27.957

TABLEAU 4 : FICHE COMMUNALE DE DEMANDE ET D'OFFRES DE CHALEUR

<u>COMMUNE</u> :				Dép.		Région :	
Pop. 1975 :							
Superficie :							
N =				NP =		Equivalent-logement 1975	Avec tertiaire
NPC1 + NPU1 =							
NPC2 + NPU2 =							
NPC3 + NPU3 =							
NPC4 + NPU4 =							
Nc 5 =							
Ng 5 =							
<u>Ressources</u> :		R1		R2		R3	
Débit							
Température							
Connaissance							
<u>Activité géothermique en cours</u> :							
Potentiel :							

TABLEAU N° 5 : FICHE RECAPITULATIVE - POTENTIEL GEOTHERMIQUE FRANCAIS

BASSIN PARISIEN

REGION	DEPARTEMENT	MILLIERS DE TEP ECONOMISABLES PAR GEOTHERMIE																
		TOTAL		NIVEAU DE CONNAISSANCE			TYPE D'AQUIFERE VISE ET NIVEAU DE CONNAISSANCE											
		Région	Département	Bon	Moyen	Faible	TRIAS			DOGGER			LUSITANIEN			ALBIEN-NEOCOMIEN ou aquifère moyenne profondeur		
						B	M	F	B	M	F	B	M	F	B	M	F	
ILE DE FRANCE	Seine et Marne		123,7	114,7	4,5	4,5	161,5			968,2			282			210,8		
	Yvelines		179,9	130,2	44,2	5,5												
	Essonne		179,0	140,9	30,5	7,6	B	M	F	B	M	F	B	M	F	B	M	F
	Hauts de Seine	1.622,5	264,4	132,2	52,2	80												
	Seine St Denis		371,0	217,8	13,2	140	10	32,6	118,9	679,5	288,7	0	24	29,2	228,8	210,8	0	0
	Val de Marne		307,5	121,7	134,7	51,1												
	Val d'Oise		197,0	66,8	71,2	59,0												
LORRAINE	Meurthe & Moselle		13,2	13,2	0	0	45,2			0			0			0		
	Meuse	45,2	3,0	0	0	3,0												
	Moselle		29,0	7,8	21,2	0	21	21,2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHAMPAGNE-ARDENNES	Haute Marne		0	0	0	0	0			3,6			6,80			0		
	Marne	10,4	10,4	9,8	0,6	0	0	0	0	3	0,6	0	6,80	0	0	0	0	0
CENTRE	Cher		5,8	0	0	5,8	54,8			0			0			0		
	Indre		1,8	0	0	1,8												
	Indre et Loire	54,8	13,5	0	13,5	0												
	Loir et Cher		6,7	2,7	4,0	0	25,9	17,5	11,4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Loiret		27,0	23,2	0	3,8												
PICARDIE	Aisne		10,2	0	10,2	0	0			61			0			6		
	Oise	67,0	56,8	37,6	11,2	8												
	Somme		0	0	0	0	0	0	0	31,6	21,4	8,0	0	0	0	6	0	0
HAUTE NORMANDIE	Seine Maritime	7,4	7,4	0	7,4	0	7,4			0			0			0		
							0	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		1 807,3	1 807,3	1 018,6	418,6	370,1	268,9			1032,8			288,8					
							56,9	78,7	133,3	714,1	310,7	8,0	30,8	29,2	228,8	216,8	0	0

TABLEAU N° 6 : FICHE RECAPITULATIVE - POTENTIEL GEOTHERMIQUE FRANCAIS

BASSIN AQUITAIN

REGION	DEPARTEMENT	MILLIERS DE TEP ECONOMISABLES PAR GEOTHERMIE																						
		TOTAL		NIVEAU DE CONNAISSANCE			TYPE D'AQUIFERE VISE ET NIVEAU DE CONNAISSANCE																	
		Région	Département	Bon	Moyen	Faible	TRIAS			LIAS			JURASSIQUE			CRETACE INFERIEUR			CRETACE SUPERIEUR			EOCENE		
AQUITAINE	Dordogne		3,3	0	3,3	0	9,6			9,6			1,8			27,1			68,4			1,4		
	Gironde		78,4	58,2	0	20,2																		
	Landes	117,9	10,8	8,5	2,3	0	0	0	9,6	0	0	9,6	0	1,8	0	0	27,1	0	65,3	0	3,1	1,4	0	0
	Lot et Garonne		1,8	0	1,8	0																		
	Pyrénées Atlant.		23,6	0	21,5	2,1																		
MIDI-PYRENEES	Haute Garonne		37,1	37,1	0	0	0			0			0			2,2			0			40,5		
	Gers	42,7	2,2	0	0	2,2																		
	Hautes Pyrénées		3,4	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0	40,5	0	0
POITOU CHARENTES	Charente	1,0	1,0	0	0	1,0	1,0			0			0			0			0			0		
							0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		161,6	161,6	107,2	28,9	25,5	10,6			9,6			4,0			27,1			68,4			41,9		
							0	0	10,6	0	0	9,6	0	1,8	2,2	0	27,1	0	65,3	0	3,1	41,9	0	0

A N N E X E 5

DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE
BASSE TEMPERATURE DANS LE MONDE

TABLE DES MATIERES.

	Pages
CHAPITRE I - <u>LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE EN ISLANDE,</u> <u>HONGRIE, U.R.S.S., ETATS UNIS</u>	2
1 - L'ISLANDE	2
2 - LA HONGRIE	5
3 - L'URSS	8
4 - U.S.A.	12
CHAPITRE II - <u>LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE, EN EUROPE,</u> <u>EN CHINE, AU JAPON ET EN AUSTRALIE</u>	17
1 - EN EUROPE	17
2 - CHINE, JAPON, AUSTRALIE	18

L'UTILISATION DE LA GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE DANS LE MONDE

En raison des réalisations géothermiques basse énergie nombreuses en Islande, en Hongrie, en U.R.S.S. et aux Etats Unis, ces quatre pays ont été plus particulièrement étudiés dans la première partie du texte qui suit. La deuxième partie comprend une rapide étude de la situation des pays européens ainsi que de quelques autres (Chine, Japon, Australie), qui comprennent également quelques réalisations.

Cette étude a été effectuée à partir de l'inventaire de Gudmundson et Palmason ⁽¹⁾, publié en 1981, ainsi qu'à partir de la littérature récente existant sur ce sujet. Cependant, il faut noter d'une part que les renseignements collectés manquent parfois de précision, et d'autre part, qu'il est difficile d'établir des comparaisons entre pays, la définition même de "réalisation géothermique" pouvant être variable (par exemple la balnéothérapie est prise en compte dans certains pays, parfois aussi l'utilisation directe de la vapeur).

(1) GUDMUNDSON (J.S.), PALMASON (G.) - World survey of low temperature geothermal energy utilization. - Reykjavik.: Orkustofnun, 1981. - 148 p.

I - LA GEOTHERMIE BASSE-ENERGIE EN ISLANDE, HONGRIE, U.R.S.S., ETATS UNIS

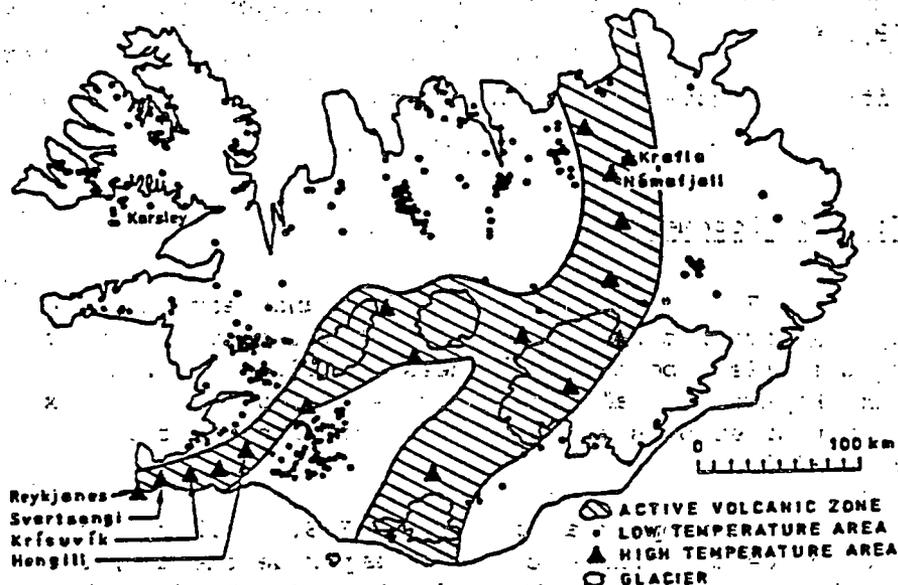
1. L'ISLANDE

Superficie : 102 828 km²

Population : 226 724 hab. (1978)

Située sur le rift médio-atlantique qui traverse l'île du Nord-Est au Sud-Ouest, l'Islande dispose d'une configuration géologique remarquable, avec un volcanisme actif. Aussi, les ressources géothermiques de l'île sont particulièrement abondantes.

Les zones géothermiques sont divisées en zones de basses et hautes températures : les zones de hautes températures se situent dans la région volcanique active qui s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est en travers de l'Islande, et les zones de basses températures se trouvent de part et d'autre de cette zone volcanique.



Exploitée de façon intensive depuis 1970, la géothermie basse énergie couvre actuellement un tiers des besoins énergétiques du pays, comme l'indique le tableau ci-dessous.

REPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE EN ISLANDE (en %)

	<u>1972</u>	<u>1979</u>
Hydrocarbure	45,3	36,6
Hydroélectricité	28,3	30,0
Géothermie	26,3	33,4
	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>

Dès le début du siècle, la géothermie a été utilisée pour le chauffage de logements, et ensuite celui de serres. En 1929, 24 forages ont été réalisés à une profondeur maximum de 400 m et produisaient 50 m³/h à 87°C. Un système de distribution d'eau a été mis en place en 1930, desservant 70 habitations, une piscine et une école ; ensuite, une autre opération réalisée en 1943 a permis de desservir 2300 logements.

Actuellement, à côté du chauffage de logements, la géothermie basse énergie trouve son application dans le chauffage de serres, de piscines, le séchage industriel et l'aquaculture.

REPARTITION DE L'UTILISATION DE LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE EN 1980

<u>Chauffage (1)</u>	<u>Serres</u>	<u>Piscines</u>	<u>Industries</u>	<u>Aquaculture</u>
89,2 %	5,4 %	3,2 %	1,9 %	0,3 %

(1) Habitations, commerces, industries

- Chauffage de logements

70 % de la population d'Islande est chauffée par géothermie. Le Reykjavik District Heating System est une compagnie de distribution d'eau chaude très importante qui dessert 113.667 hab. dans les villes de Reykjavik, Kopavogur, Hal narl Jördur et Gardabaer, et deux communes rurales : Mosfellshreppur et Bessastadakreppur dont la population est respectivement de 2.724 et 422 hab.

Le rapport annuel du R.D.H.S. de 1979, montre que 98,4 % de la population de ces villes sont chauffés par géothermie, ce qui représente 49,4 % de la population de l'Islande. Le R.D.H.S. distribue également de l'eau chaude pour le chauffage des locaux commerciaux et industriels ; en 1979, le volume chauffé était de 22.388.000 m³.

L'eau chaude produite par le R.D.H.S. provient de 3 champs géothermiques, deux dans la ville de Reykjavik, et un à Mosfellssveit à 15-20 km de distance.

Il existait au total 24 compagnies publiques de distribution d'eau chaude en Islande en 1979 ainsi que 6 compagnies privées ; les 24 compagnies publiques alimentaient 156.389 personnes, soit 69,0 % de la population. Cette proportion devrait atteindre 80 % d'ici 2 à 3 ans.

- Autres applications de la géothermie

- . 79 piscines utilisent la géothermie ; le volume total des bassins représente 20.267 m³ dont 17.483 sont en plein air et 2.783 sont couverts.
- . La superficie des serres chauffées est de 146.000 m² et le nombre de piscicultures alimentées en eau chaude s'élève à 9.
- . La principale utilisation de l'énergie géothermique basse énergie dans l'industrie s'applique au séchage des algues à Reykholar où il existe également un système de chauffage urbain géothermique ; ce dernier utilise un forage et le séchage trois. Ces trois puits produisent environ 162 m³/h à 112°C.

Dans l'industrie toujours, la vapeur géothermale est utilisée pour le séchage de diatomites, dans le Nord de l'île à Namafjall.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ICELAND : Survey of low temperature geothermal energy. - p. 68 - 77 in GUDMUNDSSON (J.S.), PALMASON (G.) : - World survey of low temperature geothermal energy utilization. - Reykjavik : Orkustofmun , 1981.
- (2) GUDMUNDSSON (J.S.) : - Low temperature geothermal energy use in Iceland. - Geothermics, vol. 11, n° 1, 1982, p. 59-68.
- (3) GUDMUNDSSON (J.S.) : - Utilization of geothermal energy in Iceland. - Applied energy, 2, 1976, p. 128-140.
- (4) Compte rendu de mission en Islande du 15 au 19 septembre 1981 (B.R.G.M. SGN/GTH. C.R. n° 56 GE MD).
- (5) FALK (H.W.). - Geothermal activity in Iceland. - Geothermal Energy Magazine, vol. 4, n° 9, 1976, p. 44-46.
- (6) SPOONER (Jane). - Geothermal energy in Iceland. - Mining Magazine, Juin 1981, p. 543-547.
- (7) ZOEGA (Johannes). - The district heating system in Reykjavik, Iceland. 1974, 40 p.

2. LA HONGRIE

Superficie : 93 030 km²

Population : 10 625 000 hab. (1976)

La Hongrie constitue une zone privilégiée pour l'utilisation de la géothermie. Le gradient et le flux géothermiques y sont très favorables (valeur moyenne du gradient géothermique : 5 à 6°C/100 m, et flux terrestre moyen d'environ $2,6 \cdot 10^{-6}$ cal/cm²s).

La recherche, le développement et l'exploitation des ressources géothermiques sont très anciens en Hongrie.

Les premiers puits d'eau chaude ont été forés en 1866 à Harkany, station balnéaire de la partie méridionale du pays. Par la suite, ont été forés le puits de l'île Marguerite de Budapest en 1867, et entre 1868 et 1878, le puits du Bois de la Ville de Budapest, à une profondeur de 970 m. Ce dernier est toujours en exploitation et a un débit de 30 m³/h à 74°C.

La deuxième étape de la prospection et de l'exploitation de l'eau chaude se situe entre les deux guerres mondiales, pendant laquelle beaucoup de forages ont été réalisés sur la Grande Plaine Hongroise. Ces forages, surtout effectués pour la prospection de pétrole et de gaz naturel, ont permis le développement du thermalisme et de la balnéothérapie.

A partir de 1954, l'exploitation des puits est devenue de plus en plus importante, en particulier entre 1967 et 1972, où 40 à 45 puits étaient forés chaque année. Le rythme actuel est de 10 à 18 puits par an.

En 1980, le nombre de puits fournissant de l'eau au-dessus de 35°C est de 590, dont 180 ont une température supérieure à 60°C.

<u>Température de l'eau</u> (°C)	<u>Nombre de puits</u>	<u>%</u>
35-44	240	40,7
45-59	169	28,7
60-69	72	12,3
70-79	49	8,3
80-89	30	5,0
90	30	5,0

APPLICATIONS DE LA GEOTHERMIE

L'eau chaude géothermique est utilisée de diverses façons, aussi bien pour le chauffage, dans l'agriculture ou dans l'industrie, mais surtout pour la balnéothérapie.

UTILISATIONS DES PUIITS (TEMPERATURE ENTRE 35 ET 100°C) (AU 1ER JANVIER 1980)

Mode de l'utilisation	Nombre de puits
Balnéologie-Thérapeutique	222
Eau potable	149
Agriculture	89
Industrie	15
Production secondaire du pétrole	10
Chauffage des bâtiments et eau chaude sanitaire	10
Observation scientifique	18
Temporairement fermés	56
Abandonnés	21
TOTAL	590

UTILISATIONS DES PUIITS GEOTHERMIQUES (TEMPERATURE A 60°C) (AU 1ER JANVIER 1980)

Mode de l'utilisation	Nombre de puits
Agriculture	68
Thermalisme-Balnéothérapie	51
Chauffage des bâtiments et eau chaude sanitaire	9
Industrie	2
Production secondaire du pétrole	4
Autres	5
Temporairement fermés ou abandonnés	21
TOTAL	160

• Chauffage urbain et chauffage des bâtiments

Actuellement, 9 puits fournissent de l'eau chaude à une température comprise entre 60 et 90°C pour le chauffage de bâtiments et de logements. A Szeged, 1000 logements sont chauffés et alimentés en eau chaude sanitaire par géothermie (le puits fournit un débit initial de 90 m³/h à une température de 90°C). Des hôpitaux, écoles et logements sont chauffés dans les villes de Budapest, Győr, Hódmezővásárhely, Mako, Szeged et Szentés. La valeur calorifique utilisée pour le chauffage de logements et bâtiments est estimée à 30 000 10⁶ kcal/an (3 000 TEP).

• Agriculture

Dans la Grande Plaine Hongroise, 80 % des serres sont chauffées par géothermie. Le chauffage se fait dans trois sortes d'installations : serres, tentes et tunnels plastiques, chauffage au sol. Par ailleurs, 50 installations d'élevage (chauffage de l'air ou planchers chauffants) utilisent la géothermie, ainsi que des piscicultures et des installations de séchage de céréales. La valeur totale de l'énergie géothermique utilisée dans l'agriculture est estimée à 425 10⁹ kcal/an (soit environ 42 500 TEP).

• Industrie

Les usines de chanvre (activation de l'opération de rouissage), dans la Grande Plaine Hongroise, sont alimentées en eau chaude par 11 puits (température entre 40 et 50°C).

• Balnéologie et balnéothérapie

La plupart des puits de Hongrie (222) sont utilisés pour la balnéologie et la balnéothérapie. Les stations les plus importantes sont celles de Budapest, Bück, Debrecev, Gyor, Gyala.

• Utilisation de l'eau chaude en cascade

A Lipok, dans la petite plaine Hongroise, l'eau (64°C) est utilisée en cascade pour le chauffage de serres, de tentes et tunnels plastiques, pour l'alimentation de la piscine et d'une pisciculture, et également pour l'irrigation.

L'Etat a largement favorisé la réalisation d'ouvrages géothermiques par diverses mesures et moyens financiers. Il existe des fonds propres et spéciaux, des subventions, des prêts et avances financières pour les organismes municipaux, les collectivités locales, les coopératives agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) "Hungary : Survey of Low Temperature Geothermal Energy", p. 46-50 in GUDMUNDSSON (J.S.), PALMASON (G.). - World survey of low temperature geothermal energy utilization. - Reykjavik : Orkustofnun, 1981.
- (2) KORIM KALMAN. - L'exploitation et l'utilisation des eaux géothermales en Hongrie. - Techniques de l'énergie, avril 1980, p. 38-41.
- (3) ZOLTMAN (L.). - Possibilités de la coopération étrangère pour l'exposition complexe des eaux thermales hongroises. - Marketing en Hongrie (1981).
- (4) KORIM KALMAN. - "Les résultats de la recherche des eaux thermales et de la construction des puits en Hongrie", 14 p. in JOURNEES ECONOMIQUES ET TECHNIQUES HONGROISES, Lyon, 25-27 avril, 19 p.
- (5) CENTRE DE FORMATION SUR LES TECHNIQUES HONGROISES. - L'exploitation des ressources en eaux chaudes et les principales tendances de leurs utilisations en Hongrie. - Paris : C.R.T.H., 1980, 23 p.

3. L'URSS

Superficie : 22 740 000 km²

Population : 260 000 000 hab.

Les ressources de l'Union Soviétique en énergies traditionnelles sont considérables et mettent ce pays à l'abri de problèmes importants d'approvisionnement pour les décennies à venir.

On cite les chiffres suivants pour les réserves prouvées :

- Pétrole : 10 370 millions de tonnes
- Gaz naturel : 26 036 milliards de mètres cube
- Charbon : 82,9 milliards de tonnes
- Hydroélectricité : de l'ordre de 200 millions de kW.

Pour cette raison, l'URSS n'a pas jusqu'à présent été amenée à accorder une grande importance aux sources d'énergies alternatives.

Cependant, la croissance de la consommation par habitant allant en augmentant et les sources principales d'énergie étant situées dans la partie orientale du pays alors que les centres de consommation se trouvent dans la partie occidentale, ces deux facteurs ont amené récemment le pays à favoriser l'étude et l'utilisation des énergies non traditionnelles, dont la géothermie.

La première utilisation de l'énergie géothermique en URSS remonte à 1940, lorsque les eaux chaudes obtenues des puits de pétrole dans le Daghestan, république du Nord du Caucase, ont été utilisées pour le chauffage, le forage de puits géothermiques a par la suite débuté en 1966.

Bien que l'utilisation de cette source d'énergie soit encore modeste, elle va en s'accroissant; en effet, pendant les 5 dernières années, l'extraction des eaux thermales a augmenté de 60 % (25 millions de m³ en 1976 et 40 en 1980) et 170 puits sont actuellement exploités.

UTILISATIONS DE L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

Actuellement, le chauffage urbain et le chauffage de serres constituent les principales utilisations de la géothermie.

Le Daghestan (Nord du Caucase), première région de l'URSS où la géothermie a été utilisée, dispose de ressources importantes, à des profondeurs de 500 à 5500 m. Ces réserves sont chiffrées à un minimum de 4 à 5 millions de mètres cube/j. Aujourd'hui, les villes de Maknackala, capitale de Daghestan, ainsi que Izberbach et Kizlyar utilisent la géothermie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

L'eau géothermale est également utilisée dans les républiques de Transcaucasie, tout d'abord en Georgie qui dispose de ressources abondantes à une température moyenne de 80°C : un grand complexe de cultures de légumes est à l'étude. Les eaux thermales sont déjà utilisées pour alimenter plusieurs villes dont Tbilissi et Zugdidi.

L'Ouest de la Sibérie, qui est un des principaux centres de production de pétrole et de gaz possède aussi d'importantes ressources géothermales qui sont utilisées pour augmenter la capacité de production des gisements de pétrole et pour l'aquaculture.

AUTRES APPLICATIONS DE LA GEOTHERMIE

Agriculture

Les eaux thermales sont également utilisées dans l'agriculture dans le Caucase, dans la province de Krasnodar, en Sibérie, en Transcaucasie, à Chukotka et Kamchatka pour le chauffage de serres ; la température de l'eau varie de 70 à 100°C. La superficie totale des serres chauffées par géothermie représente environ 500 000 m².

Aquaculture

Des bassins d'élevage de poissons sont alimentés par de l'eau géothermale dans l'Ouest de la Sibérie à Kamchatka.

Industrie

A Zugdidi (Georgia), de l'eau à 98°C est utilisée pour le séchage du thé.

Les eaux géothermales sont aussi utilisées pour le lavage de la laine (région de Tyumen), la production de papier (Zugdidi, température à 98°C), le chauffage de champs de pétrole (Ouest du Kazakhastan, température à 80°C environ).

Dans le Nord du Caucase, West Turkmeniç et l'Ouest de la Sibérie, de l'iode et du brome sont extraits de l'eau salée géothermale.

Piscines

Plusieurs piscines ont été construites, fonctionnant avec de l'eau géothermale en R.S.F.S.R. (Nord du Caucase, Est de la Sibérie, Kamchatka), dans l'Ukraine, et dans les républiques Transcaucasiennes.

CHAUFFAGE D'HABITATIONS ET DE LOCAUX INDUSTRIELS DANS LE CAUCASE

Ville, République	Nombre d'hab. utilisant l'eau géothermale	Débit d'un puits de production (m ³ /h ⁻¹)	Température à l'entrée du système	Température à la sortie du système
• RSFSR				
Daghestan ASSR				
Makhachkala	20 000	35-65	70	25-30
Kizlyar	30 000	36-72	100	58
Izberbash	23 000	36-72	100	45
Checheno-Ingusk				
• ASSR				
Crozny région				
	5 000	54-110	80-96	45
Georgian SSR				
Tbilissi	25 000	43-54	70	20
Zugdidi	5 000	110-220	98	30
Tsaishi	5 000	90-110	81-85	40

Des projets concernant la diversification de l'utilisation de l'énergie géothermique sont étudiés, notamment pour la réfrigération et la réalisation de système à air conditionné dans les régions tropicales du pays (Middle Asia, Caucase).

Une plus grande utilisation de la géothermie pour le chauffage des serres et pour le chauffage urbain est planifiée dans les régions de Sibérie et de Transbaikalie et le "Far East".

BIBLIOGRAPHIE

- (1) FONONOV (V.I.) (Institut de géologie, Académie des Sciences d'URSS). - Present state of development of geothermal resources in the USSR. - Geothermics, vol. 10, n° 4, 1981, p. 133-143.
- (2) "Union of Soviet Socialist Republics : survey of low temperature geothermal energy" p. 39-45, in : GUDMUNDSSON (J.S.), PALMASON (G.). - World survey of low temperature geothermal energy utilization. - Reykjavik : Orkustofnun, 1981.
- (3) PRYDE (P.R.). - Geothermal energy developments in the Soviet Union. - Geo-Heat Utilization Center Quarterly Bulletin, 4, 1981, p. 8-14.
- (4) BOKSERMAN (Y.). - The potential and prospects of geothermal power generation in the USSR. - Geothermal energy, vol. 9, n° 9, 1981, p. 10-13.
- (5) La politique et les projets soviétiques en matière d'énergies nouvelles. - Problèmes économiques, n° 1.691, 1980, p. 28-31.

4. U.S.A.

Superficie : 9 363 168 km²

Population : 297 329 000 hab. (1978)

Les Etats Unis comptent environ 211 réalisations en géothermie basse énergie (chauffage urbain, serres, aquaculture...) dans 14 états.

Bien que ces réalisations à partir de basses températures ne produisent que de petites quantités d'énergie en comparaison des centrales géothermiques qui fournissent de l'électricité, l'ensemble des utilisations permettent cependant d'économiser une quantité d'énergies traditionnelles significatives. En effet, les économies ainsi réalisées représentent 2 258 000 barils de pétrole chaque année.

Actuellement, 42 opérations sont en cours de réalisation, et 197 ont été proposées dans 18 états, comme l'indique le tableau suivant.

La géothermie est principalement utilisée dans l'Ouest des Etats-Unis, en raison de la qualité de la ressource ; elle trouve son application surtout dans le chauffage, mais on trouve également un certain nombre d'utilisations dans l'industrie et dans l'aquaculture.

Ainsi, une usine de séchage d'oignons du Néveda, utilise la géothermie comme source principale d'énergie. Quatre usines de production d'éthanol par géothermie sont devenues opérationnelles en 1980, ce qui permet d'économiser environ 7500 TEP.

Plusieurs projets sont également à l'étude qui visent à diversifier l'utilisation de la géothermie, comme l'indiquent les quelques exemples suivants :

- chauffage des digesteurs anaérobies de la station d'épuration de San Bernardino en Californie ;
- utilisation du fluide géothermal pour l'irrigation de cultures énergétiques sur l'Imperial East Mesa Desert en Californie (culture de betteraves à sucre) ;
- utilisation en cascade de l'eau géothermale à Salido (Colorado) pour le chauffage urbain, l'alimentation en eau chaude sanitaire, le chauffage de locaux commerciaux, chauffage et production d'eau chaude pour des hôtels, restaurants, serres, piscines, chauffage de locaux industriels.

1)

STADE D'AVANCEMENT ETAT/ USAGE	EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
ALASKA								
Résidentiel	2	(2)	-	-	-	-	26	(3)
Commercial	-	-	-	-	-	-	5	(1)
Industriel	8	(1)	-	-	-	-	10	(1)
Agriculture	28	(3)	-	-	-	-	-	-
Loisirs	10	(3)	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	48	(9)	-	-	-	-	42	(6)
ARKANSAS								
Loisirs	1	(1)	-	-	1	(1)	-	-
Sous-total	1	(1)	-	-	1	(1)	-	-
CALIFORNIA								
Résidentiel	59	(2)	25	(1)	-	-	-	-
Commercial	2	(2)	50	(4)	-	-	26	(4)
Industriel	110	(2)	1300	(1)	531	(6)	4300	(4)
Agriculture	364	(5)	315	(2)	-	-	101	(2)
Aquaculture	171	(1)	-	-	-	-	-	-
Sous-total	706	(12)	1690	(8)	531	(6)	4427	(10)
COLORADO								
Résidentiel	4	(5)	32	(1)	-	-	61	(7)
Commercial	11	(6)	50	(1)	103	(2)	21	(8)
Industriel	20	(2)	5	(1)	169	(4)	260	(3)
Agriculture	2	(2)	-	-	-	-	2	(2)
Aquaculture	6	(2)	-	-	-	-	-	-
Loisirs	1	(2)	-	-	-	-	3	(4)
Sous-total	44	(19)	87	(3)	272	(6)	347	(24)
HAWAI								
Industriel	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Agriculture	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Sous-total	-	-	-	-	-	-	200	(2)
IDAHO								
Résidentiel	44	(7)	-	-	5	(1)	1006	(13)
Commercial	3	(3)	209	(2)	-	-	870	(11)
Industriel	-	-	120	(1)	1900	(7)	3904	(19)
Agriculture	14	(9)	-	-	-	-	45	(5)
Aquaculture	895	(5)	-	-	-	-	301	(4)
Loisirs	14	(28)	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	970	(52)	329	(3)	1905	(8)	6127	(53)

2)

STADE D'AVANCEMENT ETAT/ USAGE	EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
<u>REPORT</u>	970	(52)	329	(3)	1905	(8)	6127	(53)
<u>INDIANA</u>								
Industriel	-	-	-	-	100	(1)	-	-
Commercial	-	-	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total	-	-	-	-	100	(1)	1	(1)
<u>MARYLAND</u>								
Résidentiel	-	-	-	-	4	(1)	-	-
Commercial	-	-	-	-	5	(1)	-	-
Industriel	-	-	-	-	100	(1)	55	(1)
Sous-total	-	-	-	-	109	(3)	55	(1)
<u>MICHIGAN</u>								
Agriculture	-	-	-	-	-	-	1	(1)
Sous-total							1	(1)
<u>MONTANA</u>								
Résidentiel	3	(3)	-	-	-	-	35	(4)
Commercial	5	(6)	27	(2)	5	(1)	6	(2)
Industriel	-	-	480	(1)	286	(1)	660	(2)
Agriculture	2	(1)	4	(1)	-	-	1	(1)
Aquaculture	100	(1)	-	-	-	-	3	(1)
Loisirs	4	(6)	-	-	1	(1)	-	-
Sous-total	114	(17)	511	(4)	292	(3)	705	(10)
<u>NEVADA</u>								
Résidentiel	9	(7)	5	(1)	1200	(1)	11	(3)
Commercial	16	(2)	131	(3)	1	(1)	12	(4)
Industriel	289	(4)	100	(1)	900	(2)	1060	(5)
Agriculture	2	(2)	-	-	-	-	31	(2)
Aquaculture	-	-	-	-	-	-	100	(1)
Sous-total	316	(15)	236	(5)	2101	(4)	1214	(13)

3)

ETAT/ USAGE	STADE D'AVANCEMENT		EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
NEW JERSEY										
Résidentiel	-	-	-	-	40	(1)	-	-	-	-
Sous-total	-	-	-	-	40	(1)	-	-	-	-
NEW MEXICO										
Résidentiel	4	(5)	-	-	-	-	23	(4)	-	-
Commercial	9	(3)	405	(4)	405	(4)	553	(4)	-	-
Industriel	1	(1)	-	-	43	(2)	160	(2)	-	-
Agriculture	116	(6)	42	(2)	-	-	600	(1)	-	-
Loisirs	1	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Sous-total	131	(17)	447	(6)	813	(3)	1336	(11)	-	-
NEW YORK										
Commercial	-	-	1	(1)	-	-	-	-	-	-
Industriel	-	-	-	-	110	(2)	50	(1)	-	-
Sous-total	-	-	1	(1)	110	(2)	50	(1)	-	-
NORTH DAKOTA										
Résidentiel	-	-	-	-	-	-	5	(3)	-	-
Commercial	1	(1)	5	(1)	1	(1)	27	(8)	-	-
Industriel	-	-	-	-	-	-	220	(3)	-	-
Agriculture	2	(2)	-	-	-	-	1	(1)	-	-
Sous-total	3	(3)	5	(1)	1	(1)	253	(15)	-	-
OREGON										
Résidentiel	39	(11)	1	(1)	1	(1)	41	(5)	-	-
Commercial	21	(4)	37	(3)	-	-	14	(6)	-	-
Industriel	277	(4)	120	(1)	200	(2)	310	(5)	-	-
Agriculture	18	(5)	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquaculture	110	(4)	-	-	-	-	-	-	-	-
Loisirs	7	(3)	-	-	-	-	-	-	-	-
Sous-total	472	(31)	158	(5)	201	(3)	365	(16)	-	-
SOUTH DAKOTA										
Résidentiel	*	(1)	*	(1)	-	-	40	(2)	-	-
Commercial	32	(5)	-	-	-	-	16	(6)	-	-
Industriel	100	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-
Agriculture	79	(2)	-	-	-	-	1 016	(2)	-	-
Sous-total	211	(9)	*	(1)	-	-	1 072	(10)	-	-

4)

STADE D'AVANCEMENT ETAT/ USAGE	EN SERVICE		EN COURS DE REALISATION		ETUDE EN COURS		PROJET	
	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)	10 ⁹ Btu	(N°)
TEXAS								
Commercial	-	-	46	(2)	-	-	1	(1)
Industriel	-	-	-	-	-	-	600	(1)
Sous-total	-	-	46	(2)	-	-	601	(2)
UTAH								
Résidentiel	1	(1)	5	(1)	-	-	110	(2)
Commercial	21	(3)	-	-	-	-	2	(2)
Industriel	-	-	420	(1)	-	-	-	-
Agriculture	18	(3)	75	(1)	-	-	-	-
Aquaculture	5	(1)	-	-	-	-	1	(1)
Loisirs	11	(8)	-	-	-	-	100	(1)
Sous-total	56	(16)	500	(3)	-	-	213	(6)
VIRGINIA								
Commercial	-	-	-	-	3	(1)	-	-
Sous-total	-	-	-	-	3	(1)	-	-
WASHINGTON								
Résidentiel	-	-	-	-	5	(1)	5	(1)
Commercial	-	-	-	-	7	(3)	6	(2)
Industriel	10	(1)	-	-	-	-	-	-
Agriculture	2	(1)	-	-	-	-	-	-
Loisirs	2	(1)	-	-	-	-	-	-
Sous-total	14	(3)	-	-	12	(4)	11	(3)
WYOMING								
Résidentiel	1	(3)	-	-	-	-	4	(1)
Commercial	15	(2)	-	-	-	-	10	(3)
Industriel	-	-	-	-	-	-	360	(3)
Agriculture	1	(1)	-	-	-	-	102	(3)
Sous-total	17	(6)	-	-	-	-	476	(10)
TOTAL	3104	(211)	4010	(42)	6491	(47)	17,496	(197)
GRAND TOTAL							41,101	(499)

* moins de 5 x 10⁹ Btu/an

II - LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE EN EUROPE, EN CHINE, AU JAPON ET EN AUSTRALIE

1. EN EUROPE

Deux pays de la communauté européenne sont engagés dans l'exploitation de la géothermie : l'Italie dans le domaine de la production d'électricité, sur le champ de vapeur sèche de Lardarello, en Toscane, dont la capacité installée est passée depuis 1904, de 250 kWe à 440 MWe, et la France (utilisation directe des aquifères chauds).

Cependant, depuis 1975, les recherches géothermiques se sont développées, en particulier dans les Pays de la communauté européenne (Danemark, Pays-Bas, R.F.A., Belgique, Luxembourg, Angleterre, Irlande, France, Italie et Grèce), en raison de la mise en place des programmes communautaires de Recherche et Développement en énergie géothermique.

En R.F.A., le projet de chauffage de Bühl vise une faille principale située à plus de 3000 m ; un débit de 125 à 150 m³/h à 80°C est attendu.

En Belgique, un forage profond a été réalisé à Saint Ghislain et a mis en évidence la présence d'un aquifère à 2600 m, avec un débit possible de 900 m³/h à 70°C..

En Grande - Bretagne, un puits a été foré dans le bassin du Wessex, au Sud-Ouest de Londres dans le but d'identifier les possibilités géothermiques : un aquifère a été rencontré à 1700 m avec un débit de 100 à 200 m³/h à 67-70°C.

Les Pays Bas, prévoient la réalisation d'un premier projet expérimental à Rotterdam, pour l'alimentation d'un réseau de chauffage urbain.

En Italie, les rejets thermiques des centrales géothermiques de Lardarello permettent de chauffer 350 000 m³ de locaux, correspondant à 1750 équivalents logements.

Mais la géothermie basse énergie est principalement utilisée pour le thermalisme, particulièrement dans le district d'Abano (Plaine du Pô) qui constitue le centre le plus important (122 m³/h d'eau entre 65 et 87°C). A Galzignano, 20 000 m² de serres utilisent la géothermie. Par ailleurs, le chauffage d'un ensemble de bureaux et d'habitations d'un quartier de Milan est réalisé à partir d'une ressource géothermique : la profondeur du forage se situe entre 1 900 et 2 100 m (débit : 55 m³/h , température : 69°C).

2. CHINE, JAPON, AUSTRALIE

La géothermie basse énergie est utilisée en Chine dans des procédés industriels : industrie textile, fabrication du ciment. Des serres pour la culture de semences utilisent de l'eau entre 41 et 70° C à Yinejshan, Jingshan et Yingeheng ; on trouve également des élevages de poissons et des cultures de plantes aquatiques qui utilisent la géothermie comme source d'eau chaude. Une partie de la population des villes de Beijing et Tianjin est chauffée par géothermie.

Le Japon dispose à la fois de ressources géothermiques hautes et basses températures. La basse énergie permet de chauffer environ 65 000 m² de serres ; elle est également utilisée pour le chauffage urbain et l'alimentation en eau chaude de 9 villes, et pour l'élevage de carpes à Shikabe.

En Australie, 3 puits produisent de l'eau pour les applications domestiques et industrielles. Près de Traralgen, dans le bassin de Gippland, de l'eau à 68° et à une profondeur de 600 m est utilisée pour la fabrication de papier.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) FORNES (A.O.). - Direct use geothermal district heating projects in the U.S.- Geothermal energy, 1982, p. 6-13.
- (2) KNAUF (F.E.). - "National estimate for direct use", p. 527-530 in : Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 5, 1981 Annual Meeting, Octobre 25-29, 1981, Houston, Texas.
- (3) ROBINSON (F.E.), THOMAS (T.R.), SINGH (F.).- Geothermal fluids to irrigate energy crops on imperial east Mesa desert, Californie, p. 561-562.
- (4) MACINE (W.C.).- Feasibility of utilising geothermal energy for waste water treatment at San Bernardino, CA. p. 557-560.
- (5) ZOCHOLL (J.R.).- An engineering design for geothermal commercial and industrial direct heat applications in Salida, Colorado, p. 583-590.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Faisabilité technique et économique de la géothermie basse énergie en Europe - 1980 -
Rapport BRGM N° 80 SGN 826 GTH
- 2) Projets de démonstration dans le domaine de l'énergie géothermique -
Bruxelles - Commissions des Communautés Européennes, 1982.
- 3) TEN DAM (A) - Geothermal developments in western europe - Geothermal Energy, Vol. 9, n° 9, 1981, p. 6 - 9.
- 4) AN (K.S.), HUANG (S.Y.) - Geothermal resources in China - Revue de l'Institut Français du Pétrole, Vol. XXXV, n° 3, p. 449 - 460.
- 5) UNGEMACH (P.) - Le développement de la géothermie en Europe -
Le Moniteur, 2 nov. 1981, p. 32 - 37.