

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

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

**RESSOURCES GÉOTHERMIQUES
AU LUSITANIEN
DANS LE BASSIN PARISIEN**

par

B. BOUNIOL, Ph. MAGET



Département Géothermie

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

Rapport du B.R.G.M.

83 SGN 045 GTH

Janvier 1983

RESUME

L'étude hydrogéologique et géothermique du Lusitanien du Bassin Parisien, présentée ici, a été entreprise dans le cadre d'un plus vaste programme, en action concertée entre la Commission des Communautés Européennes(1) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, en vue de l'évaluation du potentiel géothermique à très basse température en France.

Cette étude(2) constitue un développement et une mise à jour de la première -et seule- synthèse présentée en 1976 dans le cadre de l'inventaire des ressources géothermiques du Bassin Parisien(3).

Ce travail a pu être réalisé grâce à la nombreuse documentation transmise par Gaz de France qui a également effectué le contrôle des résultats.

Les résultats montrent 2 régions favorables :

- Le nord-ouest où se superposent 2 aquifères sableux et calcaire ; les débits potentiels pourraient atteindre localement 100 m³/h pour une température allant de moins de 30 à plus de 40°.
- La région nord de Meaux où des débits encore plus élevés peuvent être espérés avec de l'eau à 60° environ.

Ces ressources ne sont cependant pas prouvées ; les essais de captage réalisés jusqu'ici sont situés hors de ces secteurs favorables et n'apportent pas d'information extrapolable. Le Lusitanien doit donc faire l'objet, dans les régions pré-citées, soit d'un forage d'exploration soit d'une reconnaissance complète lors d'un forage à objectif plus profond. A ces régions, on peut ajouter l'agglomération parisienne, du fait de son importance économique, où la nature même du réservoir est mal connue.

(1) Contrat C.C.E n° EGA-1-037-F

(2) Principaux intervenants :

Région "Haute-Normandie" :	J. CHEMIN	(SGR/HNO)
Région "Picardie" :	R. MOURON	(SGR/PIC)
Synthèse :	B. BOUNIOL	} (Dépt. GTH)
	Ph. MAGET	

(3) "Potentiel géothermique du Bassin Parisien", 1976. B. HOUSSE, Ph. MAGET, A.C. DGRST/BRGM/Elf-Aquitaine. N° 74.7.0990.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
RESUME	
1 - PREAMBULE	1
2 - GEOLOGIE	2
2.1 - REMARQUE STRATIGRAPHIQUE	2
2.2 - EVOLUTION DES FACIES	3
2.3 - EXTENSION DES AQUIFERES	4
3 - CARACTERISTIQUES DE RESERVOIR	7
3.1 - PROFONDEUR	7
3.2 - EPAISSEUR	8
3.3 - POROSITE	10
3.4 - PERMEABILITE	11
3.5 - TRANSMISSIVITE	12
3.6 - NIVEAUX STATIQUES	15
4 - CARACTERISTIQUES DU FLUIDE	17
4.1 - TEMPERATURE	17
4.2 - SALINITE	18
5 - CONCLUSIONS	20

ANNEXES

1. Relation porosité/perméabilité.
2. Diagrammes d'analyse chimique.
3. Relation salinité totale/salinité en équivalent NaCl.
4. Bibliographie.
5. Proposition d'un programme de recherche

PLANCHES HORS TEXTE

1. Lithofaciès du Séquanien (A), du Rauracien (B) et enveloppe des formations aquifères (C).
2. Profondeur au toit des calcaires du Rauracien.
3. Epaisseur des sables du Séquanien (A) et des calcaires du Lusitanien (B).
4. Porosité moyenne des calcaires oolithiques.
5. Transmissivité des sables du Séquanien.
6. Productivité des calcaires du Lusitanien.
7. Caractéristiques du fluide des calcaires du Lusitanien.
8. Salinité de l'eau des sables du Séquanien.
9. Synthèse.

1 - PREAMBULE

Les nombreux forages pétroliers du Bassin Parisien ayant eu comme objectif le Dogger ou le Trias ont mis en évidence un système aquifère dans le Lusitanien. Situé dans ce qui est appelé du "mort-terrain" en recherche pétrolière, les informations sont souvent succinctes (description lithologique) ou rares (diagraphies, mesures sur carottes, tests) ; il est donc très difficile d'évaluer le potentiel de cet aquifère, si ce n'est que qualitativement.

L'évaluation du "Potentiel géothermique du Bassin Parisien" de 1976 a présenté la première synthèse de ce système aquifère et en a montré l'importance possible dans certaines régions, telle celle de Meaux. Mais ces résultats ne suscitèrent aucune réaction et, paradoxalement, c'est dans des secteurs peu favorisés que démarrèrent, dès 1981, les premières opérations au Lusitanien (Reims, Orly, Provins, Ris Orangis) ; d'où les échecs... sauf en ce qui concerne Orly dont les résultats insoupçonnables (une productivité qui dépasse les plus grands succès au Dogger) posent plutôt un problème géologique.

Dans le cadre de l'évaluation du potentiel géothermique à très basse température en France, entreprise en action concertée avec la Commission des Communautés Européennes(1), le Lusitanien a refait l'objet d'une étude complète. Ce système aquifère constitue même l'une des pièces maîtresses de l'étude, sachant qu'il répond en grande partie à ce domaine des "très basses températures", domaine abordé très succinctement auparavant. Dans cette étude ont été utilisées toutes les données provenant de quelques forages d'eau connus, mais surtout des sondages pour la recherche de sites de stockage de gaz(2), de même qu'ont été reprises toutes les synthèses existantes(3).

(1) Contrat C.C.E. n° EGA-1-037-F

(2) Nous remercions vivement le Département Réservoirs souterrains de la Direction des Etudes et Techniques nouvelles de Gaz de France pour nous avoir autorisés à utiliser les informations de leurs forages mais aussi pour leur aide et leurs conseils qui ont permis une étude complète de ce système aquifère.

(3) Cf. Bibliographie en annexe 4.

2.2 EVOLUTION DES FACIES

Le Lusitanien du Bassin parisien correspond à une vaste séquence régressive évoluant du pôle argileux (marnes de l'Oxfordien - Argovien) vers le pôle carbonaté bioclastique, voire le détritique estuarien.

- Argovien

Cette phase fait suite à l'Oxfordien. Elle correspond encore à des dépôts en mer ouverte profonde. Le sud, contre le Massif Central, montre des dépôts de plate-forme en mer peu profonde (calcaire) ; ils n'intéressent cependant que le secteur peu profond du Bassin actuel.

- Rauracien

La phase de comblement du Bassin Parisien s'accroît et la masse dominante des dépôts rauraciens correspond à des calcaires du domaine de plate-forme (calcaire micritique, en mer peu profonde) ; la partie supérieure des calcaires indique localement un milieu proche de l'émersion, parcouru par des courants (calcaire oolithique, graveleux, bioclastique).

- Séquanien

Dans tout le secteur central et sud-est du Bassin, la sédimentation de faciès de plate-forme se poursuit dans le Séquanien avec une tendance et quelques petits épisodes plus marneux, en général. Dans le triangle défini par Orléans-Melun-Sens s'individualise un petit domaine de barrière que traduisent des calcaires oolithiques et récifaux.

La sédimentation est cependant toute différente au nord-ouest du Bassin parisien. Une surrection des blocs ardennais et surtout armoricain engendre des dépôts estuariens (Sables de Glos) alternant avec de brefs épisodes marins (argile, marne, calcaire oolithique,...).

La séquence lusitanienne se termine lors de l'invasion marine profonde du Kimméridgien.

2.3 EXTENSION DES AQUIFERES

Du point de vue stratigraphique, on discerne 2 ensembles qui présentent un faciès favorable à l'existence de "réservoirs" (Cf. planche 1).

- Au Séquanien (Carte A) :

. d'une part, les sables estuariens ("Sables de Glos,...) et les grès au nord-ouest du Bassin Parisien.

. d'autre part, les calcaires oolithiques et récifaux au sud de Melun et au nord de la Marne (entre ces deux secteurs, les calcaires sont plutôt compacts, parfois même argileux).

- Au Rauracien (Carte B) : les calcaires oolithiques et graveleux dans la moitié nord du Bassin. Les calcaires ont leur développement maximal dans le secteur de Meaux ; dans ce même secteur, ils sont en continuité avec les calcaires sus-jacents dont ils se différencient mal.

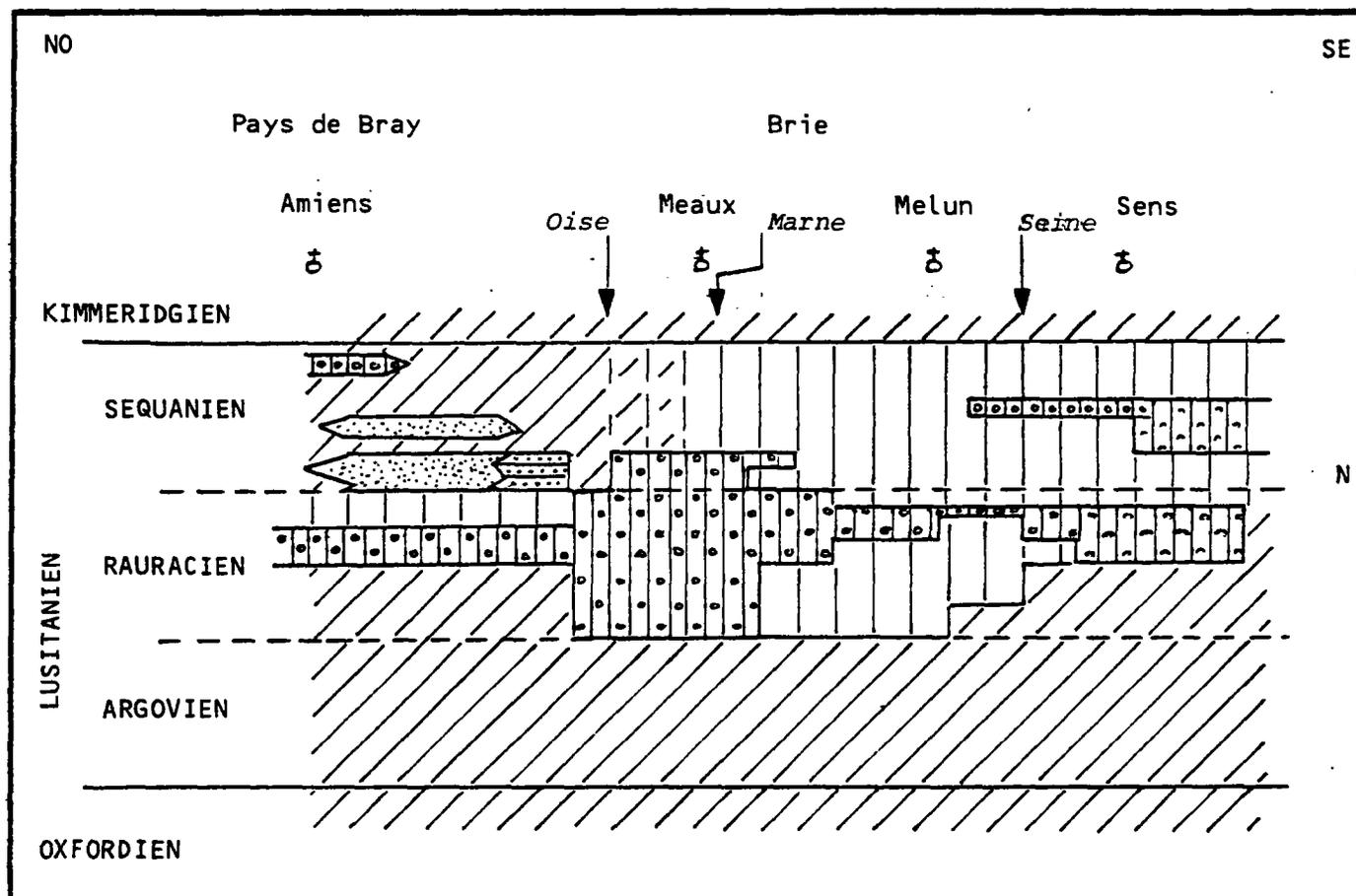
Au sud de Paris, ces calcaires deviennent de plus en plus compacts pour passer ensuite à un calcaire graveleux à matrice crayeuse (poreux mais peu ou pas perméable) puis à un calcaire argileux qui n'offre plus d'intérêt sur le plan hydrogéologique.

La coupe de la page suivante présente schématiquement la disposition de ces formations suivant une direction NO-SE.

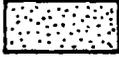
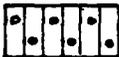
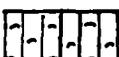
Du point de vue hydrogéologie, les différentes formations du Lusitanien peuvent être classées en 3 catégories (cf. légende de la coupe jointe) :

- 1 Les formations poreuses et perméables : ce sont les sables, les grès (lorsqu'ils sont peu cimentés) et les calcaires oolithiques et graveleux. Ce sont les aquifères potentiels où la ressource peut être étendue (données ponctuelles extrapolables régionalement).
- 2 Les formations compactes : il s'agit des calcaires de faciès de plate-forme intrinsèquement imperméables et sans porosité, mais pouvant accidentellement se révéler aquifères lorsqu'ils sont fracturés. La ressource y est aléatoire (ou du moins fortement liée aux conditions structurales rarement décelables depuis la surface ; les données ponctuelles ne sont pas extrapolables).

DISPOSITION SCHEMATIQUE
DES FORMATIONS AQUIFERES DU LUSITANIEN



LEGENDE HYDRO-LITHOLOGIQUE

lithologie	formations		
	perméables	compactes	impermeables
Sable.....			
Grès.....			
Calcaire graveleux.....			
Calcaire micritique.....			
Calcaire crayeux.....			
Marne, argile.....			

N : Niveau de référence pour la carte structurale du Lusitanien.

- 3 Les formations imperméables : ce sont les argiles et les marnes. Dans cette catégorie est rangé le calcaire graveleux à ciment crayeux qui est très développé au Sud de la Seine pour le calcaire rauracien et au Sud de Sens pour le calcaire séquanien ; il s'agit d'une formation à très forte porosité mais non perméable en nappe captive ; les données présentées dans les chapitres qui suivent justifieront ce classement.

Si l'on veut synthétiser ces résultats, le Lusitanien renferme 2 types d'aquifères :

- 1 Les formations détritiques : sables et grès du Séquanien au NO du Bassin parisien.
- 2 Les formations carbonatées : calcaire oolitique et graveleux du Rauracien essentiellement mais aussi du Séquanien*, qui s'étend sur la moitié septentrionale du Bassin parisien.

La Carte C de la planche 1 présente l'extension résultante des aquifères du Lusitanien. Ce sont ces limites que l'on retrouvera sur toutes les cartes thématiques de cette étude.

* La coupe montre également un niveau oolithique au sommet du Séquanien dans la région de Compiègne ; ce niveau est cependant d'épaisseur réduite et de faible extension ; compte tenu de sa localisation à une profondeur relativement faible, il ne présente pas d'intérêt économique en géothermie.

3 CARACTERISTIQUES DE RESERVOIR

3.1 PROFONDEUR (Cf. Carte de la planche 2)

Le niveau de référence choisi pour représenter la profondeur des aquifères du Lusitanien est le toit des calcaires du Rauracien (niveau N de la coupe précédente). Ce niveau est discernable sur la majeure partie du Bassin Parisien, si ce n'est au nord de la Marne, et est représentatif pour les deux aquifères concernés : les sables et les calcaires* :

- . Pour les sables séquaniens, la carte se rapporte à la base de l'aquifère où se situe l'horizon sableux le plus développé (région de Mantes, surtout). Le toit de l'aquifère est mal défini, selon l'extension des différents corps sableux identifiés ; il est plus élevé de 20 à 60 m.
- . Pour les calcaires, la carte se rapporte au toit de la formation à capter sur la majeure partie du Bassin. Les niveaux oolithiques poreux du Rauracien peuvent se situer plus bas, la partie sommitale des calcaires étant souvent compacte.

Deux exceptions, cependant (cf. Coupe schématique précédente) :

- 1) Entre la Marne et L'Oise-Aisne, où les calcaires aquifères se poursuivent probablement dans le Séquanien. La séparation étant floue, on ne parlera plus de calcaire rauracien mais tout simplement de calcaire lusitanien.
- 2) Dans le triangle défini par Orléans-Melun-Sens où le réservoir rauracien est exclu (matrice crayeuse) et est relayé par les calcaires du Séquanien sus-jacents. Le niveau de référence se rapporte alors à la base de l'aquifère.

Cette carte a donc un caractère synthétique. Toute détermination de la profondeur exacte des aquifères -pour une évaluation du coût de forage par exemple- nécessitera la reprise des données de forages.

* Dans la seule synthèse existante ("Potentiel géothermique du Bassin Parisien" - 1976 - Bibl. 1, annexe 4), la carte se rapporte au toit de l'aquifère placé le plus haut, ce qui entraîne des "marches d'escalier" en limite des réservoirs séquaniens. La représentation est donc plus claire ici.

Les données ayant servi à l'élaboration de cette carte sont, en ce qui concerne les valeurs ponctuelles, les indications lithologiques des forages dont les emplacements sont reportés sur la carte. La quasi totalité de ceux-ci ayant un but de recherche pétrolière ou de stockage de gaz, seules les structures anticlinales ont été prospectées ; le risque d'erreur dépend donc non seulement de la densité des forages mais des conditions structurales.

Pour les interpolations, en l'absence de marqueur sismique proche du niveau de référence(1) et en l'absence de synthèse géophysique sur l'ensemble du bassin, les courbes ont été tracées en tenant compte de la surface structurale au toit du Dogger. Hors des structures anticlinales où se trouvent les forages, les isopaques entre la surface de référence et le toit du Dogger calcaire sont imprécises, d'où un risque d'erreur plus important pour le Lusitanien que pour le Dogger.

Les failles majeures sont celles retenues pour le Dogger(2), complétées dans la région de Rouen par des études structurales plus fines. Il faut toutefois indiquer que le rejet de grands accidents, tels ceux qui limitent les blocs ardennais (faille du Bray-Juvanzé) et armoricain (faille de Rouen-Sennely), n'a pas été constant dans le temps et s'est parfois même inversé (faille de Sennely par exemple). De ce fait, l'imprécision des courbes est plus grande en limite de ces accidents.

3.2 EPAISSEUR

3.2.1 L'épaisseur totale des formations renfermant les couches aquifères correspond à la hauteur d'un captage éventuel ; elle inclut les couches imperméables intercalées.

Pour les sables séquanien, l'épaisseur est de 20 à 60 m dans les secteurs retenus ; l'ensemble comprend 2 à 3 bancs sableux séparés par de l'argile plus ou moins sableuse.

Pour les calcaires, la hauteur totale est d'environ 100 m sur la majeure partie du Bassin parisien. Au nord de Meaux, les calcaires se développent sur près de 300 m. La base des calcaires est cependant difficile à fixer en raison du passage progressif au faciès de mer ouverte.

(1) Horizons habituellement cartographiés en recherche pétrolière :
 . toit du Kimmeridgien marneux
 . toit du Dogger calcaire.

Autres horizons décelables (études Gaz de France) :
 . toit et mur du Séquanien
 . mur des calcaires du Rauracien.

(2) Cf. Carte des accidents majeurs présentés dans la Synthèse géologique du Bassin de Paris (1979 - Ed. BRGM) (Bibl. 2 en annexe 4).

3.2.2 L'épaisseur des bancs poreux (Cf. carte planche 3)

- Pour les sables séquaniens, il s'agit de la hauteur cumulée des sables exempts d'argile (carte A)

2 secteurs se dégagent :

1) Le long de la structure de la Basse Seine, où les niveaux sableux ont une épaisseur de 20 à 30 m.

2) Au nord de l'Aisne où les sables et grès ont leur épaisseur maximale (jusqu'à plus de 70 m près de Soissons). La fermeture des courbes vers le biseau du Jurassique au nord n'est pas déterminable en raison de l'absence de forages.

Entre ces deux secteurs, il semble que les sables aient un développement beaucoup plus réduit (15 m environ) ; notons cependant que les forages pétroliers sont très anciens et les diagraphies difficilement interprétables au niveau du Lusitanien.

- Pour les calcaires du Lusitanien, l'épaisseur poreuse correspond à la puissance des calcaires oolithiques et graveleux (carte B).

Le développement maximal des calcaires oolithiques se situe sur une petite surface de direction O-E, au nord de Meaux, l'épaisseur dépassant alors 100 m.

Les limites méridionales des calcaires séquaniens et rauraciens ne correspondent pas à une épaisseur nulle puisqu'elles indiquent un passage latéral à du calcaire crayeux à porosité élevée.

Les variations d'épaisseur les plus rapides se rencontrent au nord-ouest du bassin. Il est vrai que les diagraphies le plus souvent très anciennes entraînent des interprétations très imprécises.

3.2.3 L'épaisseur productrice des aquifères du Lusitanien n'est connue avec précision qu'en un point : dans les calcaires à Reims(1), elle n'est que de 8 m alors que les calcaires poreux décelés par les diagraphies ont une épaisseur de 38 m. Dans ce cas, la productivité

(1) Cf. Bibl. 8, annexe 4

correspond aux calcaires oolithiques à texture "Grainstone" ; la partie inférieure à ciment crayeux n'a qu'une productivité diffuse négligeable.

Au forage d'Orly(1), il est difficile de se prononcer étant donné que l'essai de production a été fait après perforation de la colonne.

A Provins, la hauteur productrice doit être nulle malgré la porosité décelée sur diagraphies.

3.3 POROSITE

- Les sables du Séquanien présentent en général une forte porosité (de 15 à plus de 20 %) entre Rouen (où les sables se chargent en argile) et l'Oise (où la cimentation calcaire devient de plus en plus abondante). Les plus fortes valeurs ont été mesurées sur les structures de la Basse Seine.

Au nord de l'Aisne, les grès présentent une porosité moyenne de 15 % qui diminue vers l'est.

Le risque d'erreur proviendrait essentiellement d'une extrapolation trop rapide des valeurs les plus fortes provenant des forages récents qui ont été implantés dans des zones jugées les plus favorables d'après les résultats donnés par les forages pétroliers. Le faciès estuarien des sables sur des épaisseurs somme toutes relativement réduites pourrait entraîner des variations rapides de la porosité ; mais dans l'état actuel des connaissances, rien ne permet de faire cette restriction.

- La porosité des calcaires du Lusitanien se rapportant à la hauteur indiquée sur la carte 3-B est présentée sur la planche 4.

La très grande majorité des valeurs provient de l'interprétation de diagraphies soniques ou nucléaires ; les calages avec les mesures de laboratoire sur carottes sont rares et intéressent principalement le nord du Bassin, d'où une imprécision importante ailleurs. On peut fixer approximativement le seuil de porosité, à partir duquel les calcaires oolithiques peuvent présenter un intérêt, à la valeur de 10 % au moins.

Les principaux résultats sont les suivants :

- . Au nord-ouest du Bassin parisien, les porosités moyennes peuvent dépasser 20 % d'après les forages récents. L'extrapolation de ces valeurs à l'ensemble de la région est cependant hasardeux.

1) Maître d'oeuvre : "Geotherma". Perforation sur 6 m seulement.

3) Maître d'oeuvre : DIENIC - 1982.

- . Sous l'agglomération parisienne, les données sont souvent contradictoires. Apparemment, le faciès ne semble guère favorable vers l'ouest (calcaire gréseux ou oolithique cimenté) comme vers le sud (calcaire oolithique à tendance crayeuse). Les quelques valeurs élevées de porosité qui peuvent être notées doivent donc être considérées avec réserve.
- . Dans le secteur nord de Meaux apparaît un banc peu épais (de 10 à 25 m) à très forte porosité (20 % en moyenne) que l'on a fait apparaître sur la carte. Les forages géothermiques de la région parisienne(1) montrent cependant une atténuation de ce banc (en porosité et en épaisseur) ; sa prolongation vers l'ouest est douteuse.
- . La fermeture des zones poreuses à l'ouest vers Rouen et à l'est de Reims n'est pas déterminable.
- . Sous la Brie, la porosité se dégrade très rapidement vers le sud-est, le faciès de plateforme devenant prépondérant.
- . Au sud, enfin, le passage au calcaire crayeux se marque par une augmentation de la porosité.

3.4 PERMEABILITE

Les données de perméabilité sont beaucoup plus rares que celles de porosité. Elles proviennent essentiellement de l'interprétation de test de type pétrolier souvent très anciens et sont peu fiables. Partie de ces seules valeurs, la synthèse précédente(2) indiquait des valeurs extrêmement faibles mis à part quelques cas très isolés. De nombreuses données récentes, fiables et complètes(3), bien que très localisées, viennent modifier parfois très profondément les connaissances acquises.

Pour palier à l'insuffisance des données sur l'ensemble du Bassin, il a été dégagé une relation directe entre la porosité et la perméabilité chaque fois qu'un forage offrait une reconnaissance complète (mesures sur carottes, tests, diagraphies). Dans la mesure où cette méthode a été appliquée pour un même faciès et dans une zone peu étendue, les résultats semblent cohérents (Cf. Annexe 1).

- Pour les sables séquaniens, la perméabilité paraît parfaitement liée à la porosité (annexe 1A).

Les plus fortes valeurs ont été calculées le long de la Basse Seine (plusieurs darcy), avec cependant une diminution rapide à l'est de Mantes. Dans tout le

(1) Forages de La Courneuve, Aulnay-sous-Bois, Clichy-sous-Bois.

(2) Cf. Bibl. 1, annexe 4.

(3) Forages de recherche de sites et d'équipement de stockage souterrain de gaz. Données aimablement communiquées par Gaz de France.

le nord-ouest, ainsi que dans les grès au nord de l'Aisne, la perméabilité moyenne est supérieure à 0,1 darcy, dépassant localement même 0,5 darcy.

- Pour les calcaires du Lusitanien, seule la partie nord du Bassin présente une perméabilité moyenne égale ou supérieure à 0,1 darcy.

Le long de la Basse Seine, les résultats de test peuvent cependant être influencés par la fracturation, étant donné le contexte structural.

Une attention toute particulière a été portée, pour le banc très poreux situé près de Meaux (Cf. carte de la planche 4), où a été appliqué la relation porosité-perméabilité (Cf. annexe 1B). Sous l'hypothèse que cette relation est réelle, ce banc pourrait offrir une perméabilité supérieure à 0,5 darcy.

Sous la Brie, la perméabilité se dégrade rapidement vers le sud (moins de 0,01 darcy) ; les quelques fortes porosités relevées près de Provins pourraient n'être qu'une micro-porosité qui ne peut permettre la circulation de l'eau.

Au sud de Melun, l'annexe 1C ne montre plus de relation directe avec la porosité ; au contraire les plus fortes valeurs de porosité correspondent à une perméabilité nulle, ce qui indiquerait une influence du faciès crayeux.

Au sud de Sens, les quelques fortes valeurs obtenues à partir de tests correspondent à une fracturation intense de la roche(1).

3.5 TRANSMISSIVITE

3.5.1 Sables du Séquanien

La transmissivité des sables est présentée sur la planche 5 et est exprimée en unités conventionnelles pour l'hydrogéologie profonde, soit en darcy x mètres(2).

(1) Forages pétroliers de Sens et Brion.

(2) Correspondance avec unités conventionnelles :
1 darcy.mètre $\approx 1.10^{-5}$ m²/s pour de l'eau pure à 20°.

Pour cet aquifère, les données proviennent :

- . des résultats de test des forages de Gaz de France qui intéressent la totalité des sables. Ce sont les données les plus fiables et les plus récentes qui n'avaient pu être considérées dans la synthèse précédente. Dans ces forages, s'y ajoutent les nombreuses mesures sur carotte.
- . des perméabilités calculées à partir des tests sur forages pétroliers et de la hauteur utile potentielle déterminée sur les diagraphies. Dans cette région, les forages sont anciens d'où une relativement mauvaise qualité de ces deux types de données ; en outre, les perméabilités de tests ont souvent été calculées sur les courbes de débit, d'où une mauvaise détermination qui marque -en général- par défaut. Les valeurs ainsi obtenues sont donc peu fiables.
- . en utilisant les perméabilités déduites de la relation avec la porosité.
- . Les forages d'eau ayant atteint le Lusitanien n'ont fourni aucune information (forages très anciens et absence d'essais). En particulier, le forage d'Incarville ne peut être utilisé puisqu'il capterait le Dogger également.

La carte 5 montre 2 zones d'intérêt :

- . le long de la structure de la Basse Seine, au sud de Mantes, où les sables sont les plus épais et les plus perméables ; localement, la transmissivité peut être de quelques dizaines de darcy.mètres.

A Vernon, les nombreux essais montrent que la transmissivité varie très rapidement d'un point à un autre (dans un rapport supérieur à 10) et est à rattacher aux chenaux estuariens des sables.

- . Au nord de l'Aisne où les grès sont encore mal cimentés et ont une grande épaisseur.

Entre ces 2 zones, la transmissivité est difficilement déterminable en raison de la qualité des données ; elle pourrait atteindre 5 darcy.mètres localement.

3.5.2 Calcaires du Lusitanien

La transmissivité des calcaires est représentée sur la carte de la planche 6.

Les données proviennent :

- . des résultats acquis sur les forages géothermiques. En fait, seul le forage de Reims(1) a fourni un résultat positif. La transmissivité exceptionnelle calculée à Orly ne correspond pas au faciès de l'aquifère et doit plutôt être rattachée à une fracturation intense déjà soupçonnée ; de plus, les conditions de réalisation de l'essai(2) ne permettent pas de tirer des conclusions claires. Les forages de Ris-Orangis et de Provins ont montré une productivité pratiquement nulle, facilement justifiable par le faciès du Lusitanien.
- . Des perméabilités de test de formation et des hauteurs "utiles" d'après diagraphies, comme pour tout autre aquifère profond. Ici, les tests n'intéressent, très généralement, que la partie sommitale des calcaires et ne sont de ce fait pas représentatifs de l'aquifère ; cette remarque est particulièrement valable pour la Brie où les tests se rapportent au petit banc du Séquanien de 2 à 5 m d'épaisseur et non au Rauracien.

La carte fait apparaître 2 zones favorables ;

- 1) Dans le nord-ouest du Bassin Parisien (entre Mantes et Beauvais), sur la base des données les plus récentes, principalement . Les valeurs de test sur les structures du Bray et de la Basse Seine peuvent cependant être faussées par la fracturation ou fissuration. Il en résulte que leur extrapolation à l'ensemble de la région est peu sûre.
- 2) Au nord de Meaux, la transmissivité élevée est à rattacher principalement à l'existence du banc très poreux qu'indique la carte de la planche 4. Le risque d'erreur provient de la mauvaise connaissance de l'extension de ce banc, en particulier vers Paris où l'impact économique est considérable.

(1) Cf. Bibl. 8, annexe 4.

(2) Perforations très localisées, diagraphies pas assez complètes (Cf. bibl. 9, annexe 4).

Cette plage favorable peut également être rattachée à l'épaisseur considérable des calcaires oolithiques ; cet argument se base cependant sur la porosité de ces calcaires uniquement ; il n'est pas invraisemblable qu'ils ne puissent présenter qu'une micro-porosité ou même une cimentation à tendance crayeuse, d'où le risque de ne pas obtenir une productivité de la masse calcaire inférieure.

Pour les autres secteurs, on notera en particulier :

- . la liaison hypothétique entre Saint-Dizier et Château-Thierry, ce qui a d'importantes conséquences économiques pour les villes d'Epernay et Châlons-sur-Marne.
- . La grande inconnue qui demeure pour l'agglomération parisienne, liée à la terminaison mal définie du banc très productif de la région de Meaux et sachant qu'à l'extrême sud les calcaires sont très vraisemblablement improductifs, sauf accident.
- . Toute la frange sud des calcaires du Rauracien est improductive en raison du faciès soit compact soit micro-poreux. La limite pratique de l'aquifère vers Paris, figurée sur la carte, est hypothétique.
- . Les calcaires du Séquanien au sud de Melun sont trop peu épais pour offrir une productivité intéressante.
- . Les plages à plus de 1 darcyxmètres à la limite du calcaire crayeux sont à relier très vraisemblablement à une fracturation locale.

3.6 NIVEAUX STATIQUES

Les courbes de niveau statique de l'aquifère du Lusitanien sont indiquées sur la planche 6.

Les données les plus fiables proviennent des forages géothermiques de Reims et d'Orly. Toutes les autres données proviennent des tests de formation ; elles sont très imprécises en recherche pétrolière au niveau du Lusitanien. Les courbes sont donc à considérer avec prudence et constituent seulement une hypothèse de base pour toute évaluation du débit dans un projet.

Les principaux traits de cette carte sont :

- une mise en charge élevée de direction E-O, au niveau de la Marne, qui pourrait être liée à la forte transmissivité des calcaires sur cet axe contrastant avec les transmissivités environnantes.

- une autre mise en charge importante S-N entre le Loing et l'Yonne qui pourrait être mise en parallèle avec le système faillé N-S connu (Cf. carte structurale 2) qui peut drainer les eaux du sud. Il est à noter la similitude de cet axe avec celui du Dogger.
- un drainage le long de la Basse Seine, phénomène assez général, même pour les nappes profondes, par le jeu de drainance qui peut être favorisé par les grands accidents de la Basse Seine.

4 CARACTERISTIQUES DU FLUIDE

4.1 TEMPERATURE

Les isothermes présentées sur la carte de la planche 7 se rapportent au niveau de référence de la carte 2, c'est-à-dire au toit des calcaires du Rauracien.

Les données utilisées sont principalement :

- Les mesures de fond pour les 2 forages géothermiques productifs : Orly et Reims ;
- Les très rares températures relevées lors des tests de formation au niveau du Lusitanien ;
- Quelques thermométries statiques ;
- La carte du gradient géothermique établie surtout à partir des mesures au niveau du Dogger, que ce soit celles de test ou celles enregistrées pour les diagraphies, après correction.

Il en résulte une carte dont la précision est moins bonne que pour le Dogger, d'autant plus que la carte de profondeur a été établie sans interprétation sismique entre les forages (risque d'erreur pouvant atteindre $\pm 5^\circ$).

Pour les Sables du Séquanien, il s'agit de la température maximale que l'on peut obtenir, sachant que le niveau de référence est approximativement le mur de l'aquifère. Il en est de même pour les calcaires situés au Sud de Melun. L'écart avec la température moyenne de l'aquifère doit être de l'ordre de 1° seulement.

Pour les calcaires du Rauracien, il s'agit de la température minimale espérée, au cas où la productivité s'établirait sur une grande hauteur. En ce qui concerne le secteur supposé très productif près de Meaux, la température indiquée doit être représentative de tout l'aquifère, puisque le banc très perméable se trouve vers le sommet du Rauracien.

La carte appelle peu de commentaires particuliers. Notons seulement l'incertitude importante sous l'agglomération parisienne où le gradient géothermique varie très rapidement (de $2,7$ à plus de $3,5^\circ/100$).

4.2 SALINITE

La carte présentée lors de la synthèse de 1976(1) indique la salinité maximale connue exprimée en équivalent de chlorure de sodium (salinité dite "NaCl"). Sous cette forme, l'eau du Lusitanien paraît très peu salée et peut justifier, sur le plan pollution, l'absence de réinjection, solution naturellement très séduisante sur le plan économique. Or, les diagrammes d'analyse chimique de ce même rapport montrent que la "salinité NaCl" n'est pas représentative de la salinité vraie. Les résultats du forage de Provins confirment cette remarque.

Cette pourquoi nous représentons dans cette étude la salinité totale de l'eau du Lusitanien (Cf. carte de la planche 7) en utilisant au mieux toutes les analyses existantes. Dans ce but, on a considéré la simple relation graphique qui s'établit pour ces 2 modes de représentation, pour chaque aquifère ; les détails sont présentés en annexe 3. La relation peut paraître imprécise, mais les salinités résultantes sont bien plus significatives que pour la synthèse précédente, et les conséquences économiques sont primordiales.

4.2.1 Sables du Séquanien

La salinité totale de l'eau des sables séquanien est présentés sur la planche 8.

La précision doit être bonne à l'ouest de l'Oise où il existe plusieurs analyses complètes. Par contre, les courbes sont approximatives au nord de l'Aisne où les salinités sont extrapolées à partir des valeurs dites "NaCl".

On observe un fort gradient au sud-ouest en direction des affleurements, du fait de la transmissivité élevée de l'aquifère et de la drainance de la Basse Seine.

On trouvera en annexe 2, les diagrammes d'analyse chimique de quelques forages représentatifs.

4.2.2 Calcaires du Lusitanien

La salinité totale de l'eau des calcaires est reportée sur la planche 7. La carte indique une salinité moyenne de 5 g/l sur la plus grande partie du bassin, les variations étant faibles autour de cette valeur.

(1) Cf. Bibl. 1, annexe 4 - Carte unique pour tout le Lusitanien, pl. LU.7.

Sur la majeure partie du Bassin parisien, exception faite de la Picardie et des calcaires séquanien au sud de Melun, les valeurs de salinité sont extrapolées à partir des relations établies en annexe 3. La précision n'est donc pas très bonne et le tracé de la courbe moyenne de 5 g/l peut subir des modifications sensibles si de nouvelles données sont acquises.

La relativement faible salinité de l'eau au nord de la Marne peut être mise en parallèle avec les courbes de pression statique (cf. planche 6) ; elle indiquerait donc un axe très transmissif venant de l'est.

Sous la Brie, en l'absence de valeurs(1), la courbe a été calquée sur la profondeur de l'aquifère où un gradient de gravité peut s'établir.

Les salinités croissent vers l'embouchure de la Seine, selon l'hydrodynamisme naturel de la nappe (Cf. Planche 6).

Les analyses complètes de l'eau du Lusitanien sont présentées en annexe 2 et sont classées par région. Les diagrammes mettent bien en évidence la teneur importante en sulfates et les différences entre les deux représentations de la salinité (totale et "NaCl").

La composition de l'eau au forage de Reims ne peut être reportée, l'échantillon recueilli n'ayant pas été représentatif.

(1) Les quelques valeurs existantes (forages de Coupvray, Sablonnières, Courgivaux) ne sont pas représentatives de l'aquifère car elles se rapportent au petit banc oolithique du Séquanien sus-jacent.

5 CONCLUSION

Si les anciens forages (eau et charbon) n'ont apporté aucune information et si la reprise des documents pétroliers n'a abouti à aucun résultat nouveau, les forages pour la recherche de sites de stockage de gaz ont permis une évaluation plus précise de la ressource géothermique et ont mis en évidence un potentiel plus important que ne l'indiquait le synthèse de 1976.

Géographiquement, on retrouve les 2 secteurs favorables :

- 1) Le nord-ouest du bassin où se superposent les sables et les calcaires aquifères (Mantes, Beauvais,...),
- 2) Le nord de Meaux où les calcaires sont très poreux et très épais, cette zone pouvant éventuellement s'étendre sous une partie de l'agglomération parisienne (Cf. Planche 9).

Le risque majeur concerne la productivité de ce système aquifère :

- Pour les sables, le risque est lié au faciès estuarien des dépôts qui entraîne une grande variabilité des débits espérés et qui a une incidence possible sur la durée de fonctionnement du doublet du fait de circulations préférentielles.
- Pour les calcaires, la productivité est basée sur le développement des couches poreuses et sur les résultats de tests de type pétrolier. En l'absence d'analyse sédimentologique fine (détermination de la micro et macro-porosité, étude de la cimentation et des phénomènes diagénétiques) et en l'absence d'essais de production plus significatifs dans des secteurs mieux choisis, le potentiel du Lusitanien restera non prouvé.

Autre remarque fondamentale : le Lusitanien renferme de l'eau salée sur la plus grande partie du Bassin parisien, ce qui peut entraîner l'obligation, sur le plan pollution, de réinjecter l'eau dans le même réservoir.

Le Lusitanien est donc un objectif potentiel non négligeable ; il peut offrir en plusieurs points une puissance comparable à celles de plusieurs stations en service captant le Dogger. Il peut constituer un objectif unique en certains secteurs comme la Basse Seine ou les environs de Laon ; il peut aussi offrir une ressource supplémentaire dans des régions où le Dogger est prêt d'être "saturé", comme à Meaux ou dans l'est parisien.

Les objectifs géographiques prioritaires sont donc la Basse Seine et le secteur de Meaux, où la ressource est la plus probable. Ils peuvent s'étendre également à l'agglomération parisienne, du fait de son importance économique liée à une ressource "possible" mais que l'on ne peut préciser faute d'informations suffisantes.

Cependant, le -ou les- premiers forages qui seront entrepris au Lusitanien dans les zones retenues devront être considérés d'abord comme des sondages d'exploration avec tout le programme que cela implique : carottage avec mesure des paramètres physiques, hydrogéologiques et analyse sédimentologique, diagraphies combinées, essai de production complet(1).

Seul un tel programme permettra d'extrapoler les résultats acquis et de placer le Lusitanien -si les résultats sont positifs- au rang d'objectif géothermique économique.

(1) Une proposition de programme de recherche est présentée en annexe 5.

A N N E X E S

ANNEXE 1

RELATION POROSITÉ/PERMÉABILITÉ
AU LUSITANIEN

- A - Sables du Séquanien
- B - Calcaire du Rauracien
- C - Calcaire du Séquanien

ANNEXE 1 A

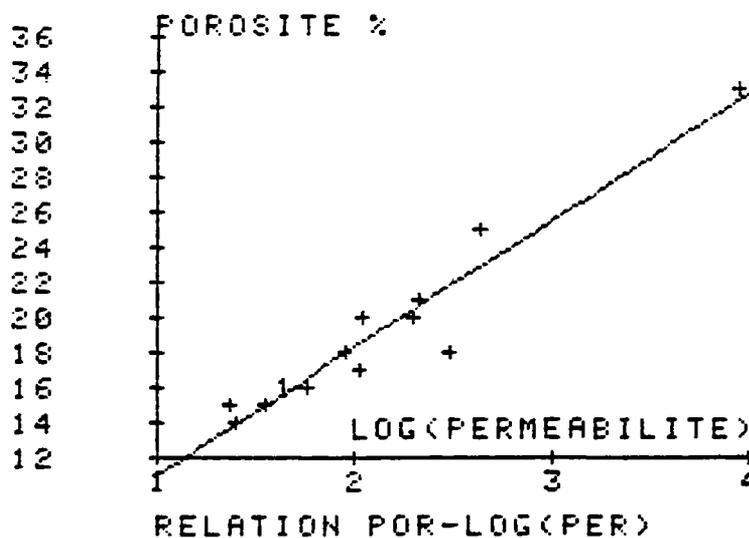
RELATION PERMEABILITE-POROSITE
SABLES SEQUANIENS

FORAGE	PER mDarcy	LOG(PER)	POR %
MONTOIDIER	25	1.39	14
GUIGNICOURT	35	1.54	15
VERNON 6	23	1.36	15
VERNON 7	58	1.76	16
VERNON 8	90	1.95	18
ST-MAUR 103	108	2.03	17
VERNON 1	110	2.04	20
ST-MAUR 133	200	2.3	20
ST-MAUR 106	300	2.48	18
VERNON 2	220	2.34	21
BEYNES 105	440	2.64	25
VERNON 11	7000	3.95	33

ANOVA REG LINEAIRE CODE 1
 SOURCE/DF SS MS F
 TOTAL 11 308.7
 REG 1 283.1 283.1 110.9
 RESID 10 25.5 2.6
 R CARRE = 0.917

YHAT = 3.834 + 7.215 X

X(I)	Y(I)	YHAT	RESIDUELS
1.39	14.00	13.86	0.14
1.54	15.00	14.94	0.06
1.36	15.00	13.65	1.35
1.76	16.00	16.53	-0.53
1.95	18.00	17.90	0.10
2.03	17.00	18.48	-1.48
2.04	20.00	18.55	1.45
2.30	20.00	20.43	-0.43
2.48	18.00	21.73	-3.73
2.34	21.00	20.72	0.28
2.64	25.00	22.88	2.12
3.95	33.00	32.33	0.67



RELATION PERMEABILITE-POROSITE CALCAIRES RAURACIENS
--

FORAGE	PER mDarcy	LOG(PER)	POR %
MONTOIDIER	29	1.46	13
MONTLEVEE	50	1.70	14.5
PEIMS(GMUR)	151	2.18	15.6
VERNON	75	1.88	16
AUX MARRAIS	164	2.21	17
VN 102	400	2.60	17
ROSNY	200	2.30	17.5
JUILLY	400	2.60	18.5
CROUY 3	980	2.99	20
ORLY	2200	3.34	20

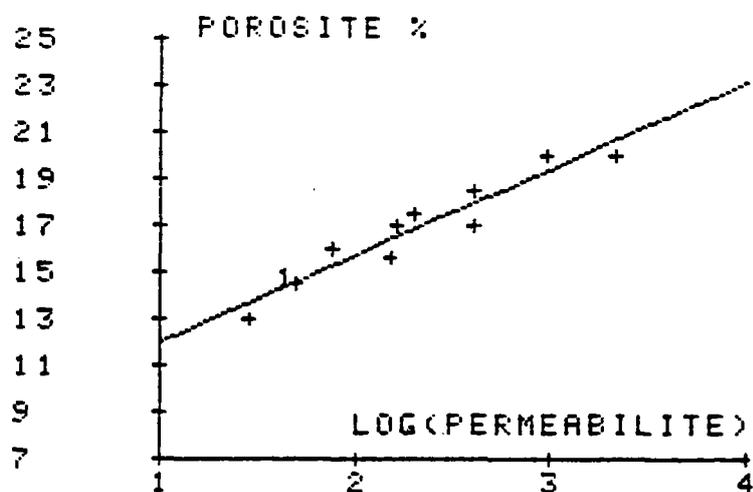
```

ADV:REG LINEAIRE:CODE 1
SOURCE/DF      SS      MS      F
TOTAL -1.9
ADV:REG LINEAIRE:CODE 1
SOURCE/DF      SS      MS      F
TOTAL 9      45.6
REG 1      41.2      41.2      74.7
RESID 8      4.4      0.6
R CARRE =      0.983

```

YHAT = 8.282 + 3.709 X

X(I)	Y(I)	YHAT	RESIDUELS
1.46	13.00	13.70	-0.70
1.70	14.50	14.59	-0.09
2.18	15.60	16.37	-0.77
1.88	16.00	15.26	0.74
2.21	17.00	16.48	0.52
2.60	17.00	17.93	-0.93
2.30	17.50	16.81	0.69
2.60	18.50	17.93	0.57
2.99	20.00	19.37	0.63
3.34	20.00	20.67	-0.67



RELATION PERMEABILITE-POROSITE

ANNEXE 1 C

RELATION PERMEABILITE-POROSITE
CALCAIRES SEQUANNIENS

FORAGE	PER mDarcy	LOG(PER)	POR %
POLIGNY	2	0.3	20
SULLY	3.2	0.5	28
1a MADELEINE	3	0.48	16
VILLEMER	3	0.48	12
RUFFERVILLE	8	0.9	15
SENS 3	23	1.36	12
SENS 1	150	2.18	11
BRION	900	2.95	07

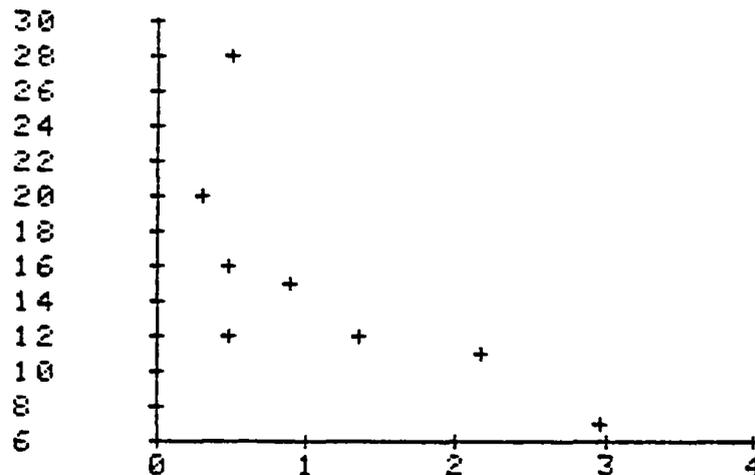
ADM:REG LINEAIRE:CODE 1

SOURCE/DF	SS	MS	F
TOTAL 7	292.9		
REG 1	144.3	144.3	5.8
RESID 6	148.6	24.8	

R CARRE = 0.493

$$\text{YHAT} = 20.534 + -4.729 X$$

X(I)	Y(I)	YHAT	RESIDUELS
0.30	20.00	19.12	0.88
0.50	28.00	18.17	9.83
0.48	16.00	18.26	-2.26
0.48	12.00	18.26	-6.26
0.90	15.00	16.28	-1.28
1.36	12.00	14.10	-2.10
2.18	11.00	10.22	0.78
2.95	7.00	6.58	0.42

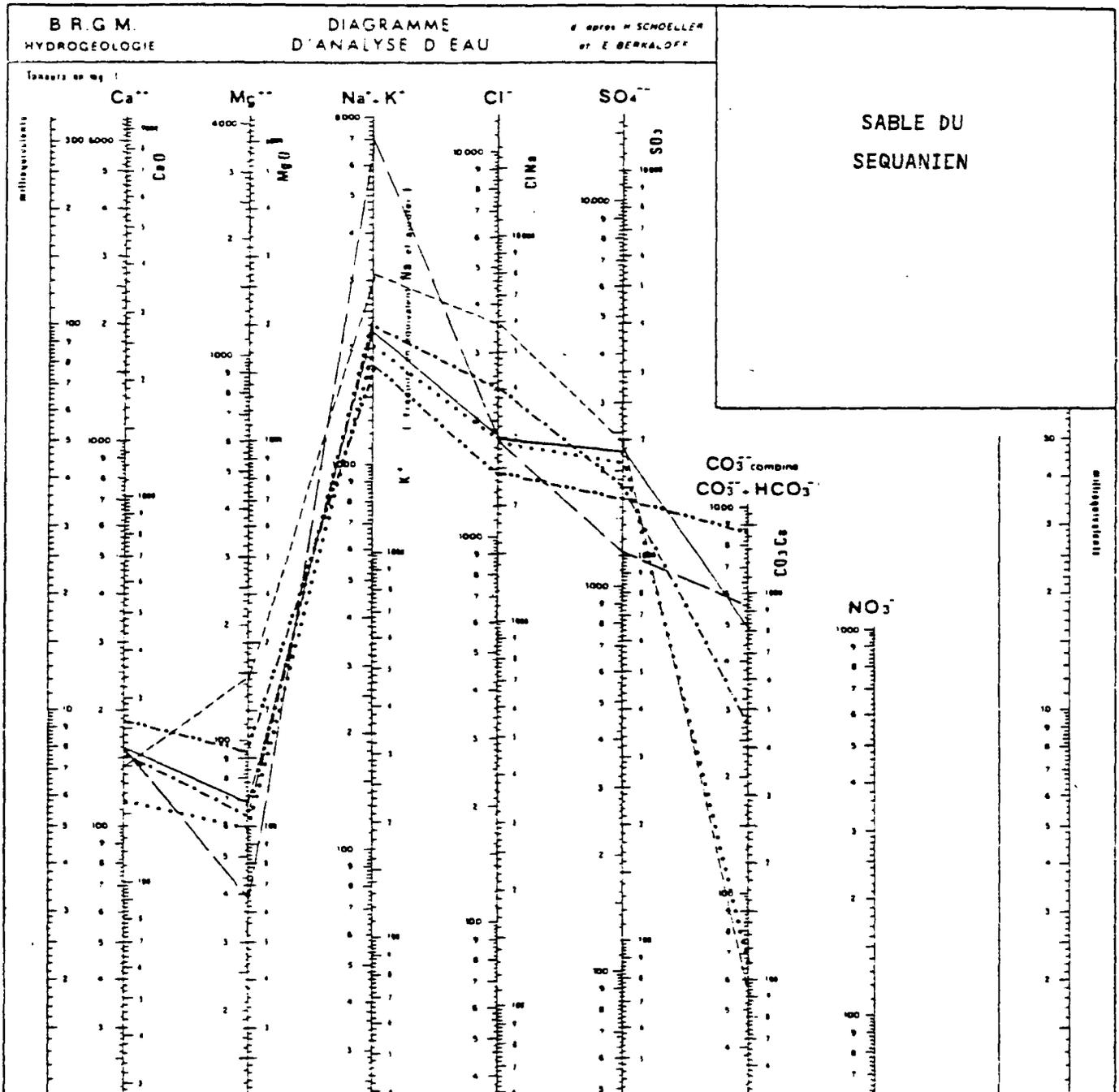


ANNEXE 2

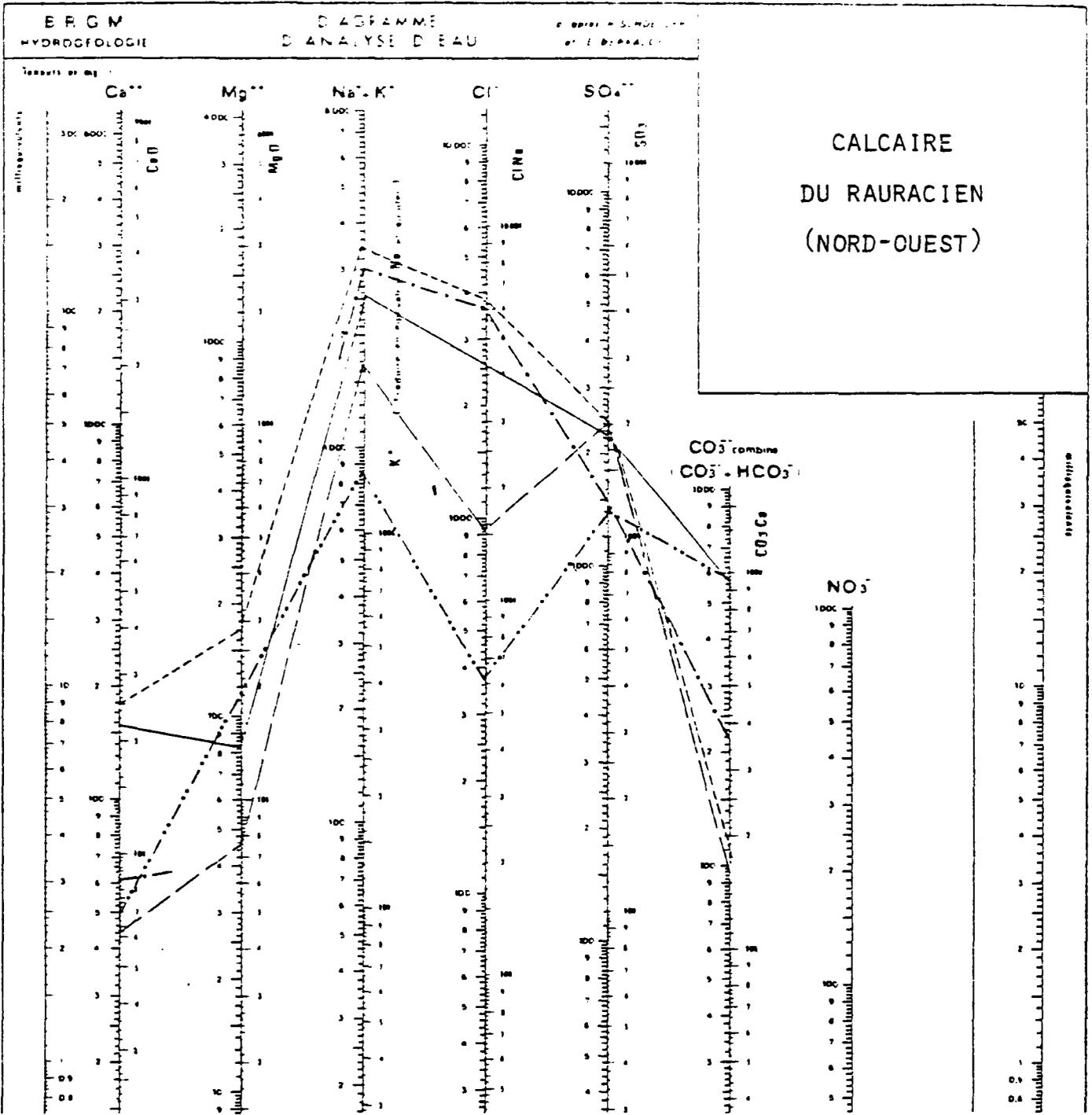
DIAGRAMMES D'ANALYSE CHIMIQUE

- A - Sables du Séquanien
- B - Calcaire du Rauracien (Nord-Ouest)
- C - Calcaire du Rauracien (Centre du Bassin Parisien)
- D - Calcaire du Séquanien (Sud)

ANNEXE 2 A

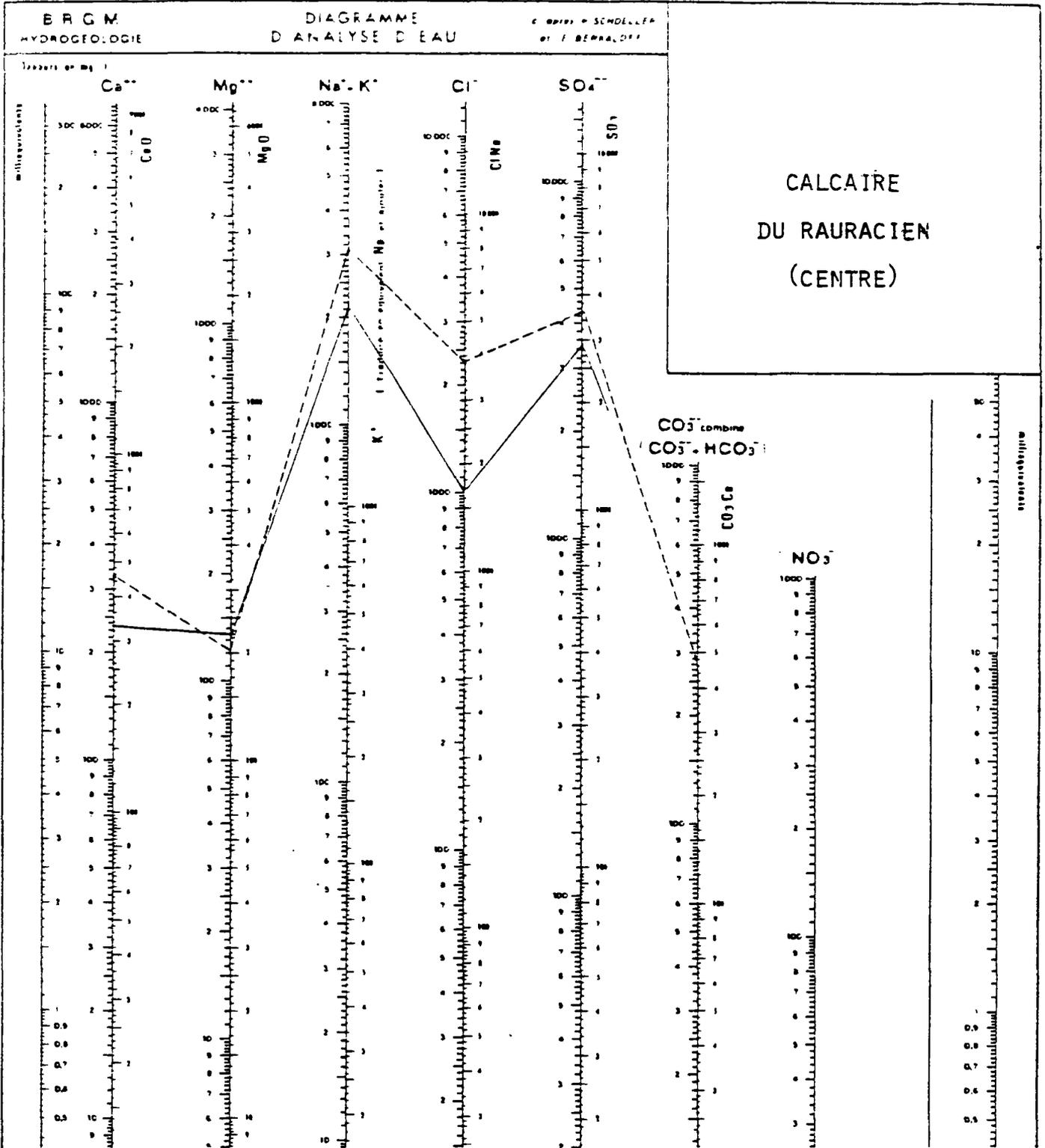


Forage	Indice	Figure	Salinite (g/l)	
			Na cl	Totale
A chères 1	182-4-35	—————	2,80	5,38
Maule 1	182-1-3	—————	2,9	6,89
Banthelu 1	152-1-2	-.-.-.-.-	4,09	7,08
Noailles 101	127-1-1	2,9	4,27
Aux Marais 101	102-7-9	-----	5,2	9,23
Fouilleuse 101	103-4-1	-----	2,6	8,27

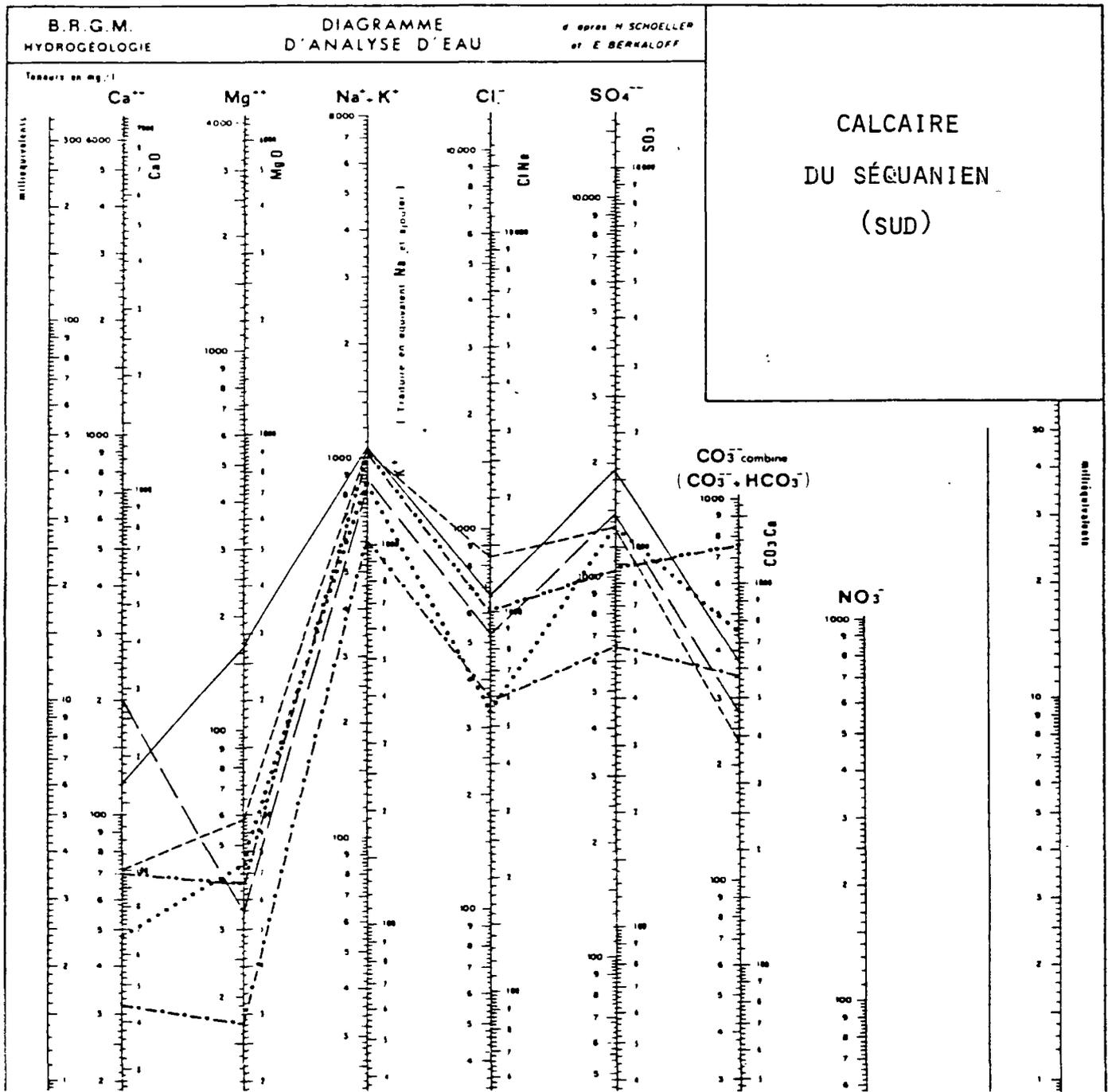


Forage	Indice	Figure	Salinité (g/l)	
			No Cl	Totale
Moule 1	182-1-3	—————	4,15	8,16
Saint Illiers 1	151-6-2	6,14	8,57
Aux Marais 101	102-7-9	-----	5,8	10,05
Saint Maur 101	81-6-1	-.-.-.-.-	0,8	3,58
Montdidier 101	80-4-1	-----	1,25	5,26

ANNEXE 2 C



Forage	Indice	Figuré	Salinité (g/l)	
			Na Cl	Totale
Villemer 101	294-7-1	—————	2,25	6,81
Auvernoux	257-4-11	- - - - -	4,09	10,32



Forage	Indice	Figuré	Salinité (g/l)	
			Na Cl	Totale
La Madeleine-sur-Loing	329-3-4	— · — · — · — ·	0,3	2,01
Aufferville 3	329-1-4	— — — — —	1,17	3,42
Poligny 1	329-3-2	· · · · ·	0,87	3,04
Saint-Pierre-les-Nemours 1	294-6-2	— — — — —	1,17	4,27
Thoury Ferrottes 1	295-5-34	- - - - -	0,93	3,77
Villemer 406		- · - · - · - ·	2,2	3,79

ANNEXE 3

RELATION SALINITÉ TOTALE
/SALINITÉ EN EQUIVALENT NaCl

- A - Sable du Séquanien
- B - Calcaire du Rauracien
- C - Calcaire du Séquanien

ANNEXE 3 A

CORRELATION
SALINITE TOTALE-SALINITE Na-Cl
SABLES REMUANIENS

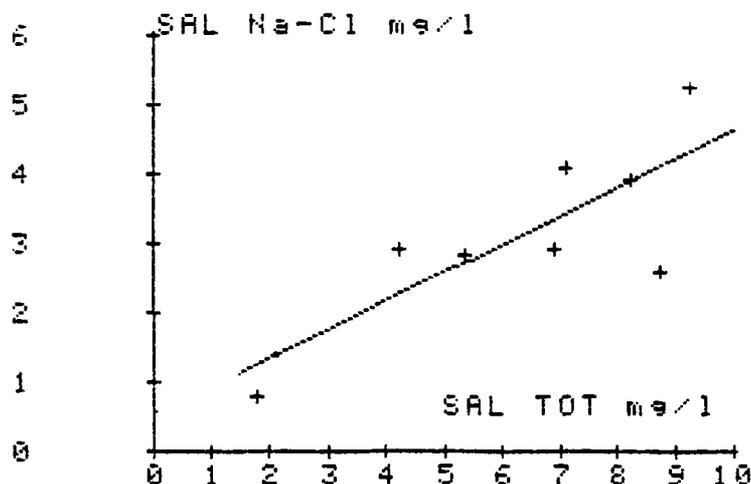
FORGE	SAL-TOT me/l	SAL Na-Cl me/l
Rux MARRIS	9.24	5.24
MONTOIDIER	8.25	3.90
SANTHELU	7.1	4.00
MAULE	6.9	2.90
FOUILLEUSE	8.7	2.60
ROCHES	5.35	2.85
NOAILLES	4.25	2.90
INCARVILLE	1.8	0.80

ANALYSE REG LINEAIRE CODE 1

SOURCE/DF	SS	MS	F
TOTAL 7	11.9		
REG 1	7.4	7.4	10.1
RESID 6	4.4	0.7	
R CARRE =	0.626		

YHAT = 0.527 + 0.408 X

X(I)	Y(I)	YHAT	RESIDUELS
9.24	5.24	4.30	0.94
8.25	3.90	3.89	0.01
7.10	4.10	3.42	0.68
6.90	2.90	3.34	-0.44
8.76	2.60	4.10	-1.50
5.35	2.85	2.71	0.14
4.25	2.90	2.26	0.64
1.80	0.80	1.26	-0.46



ANNEXE 3 B

RELATION
 SALINITE TOTALE - SALINITE Na-Cl
 CALCAIRES PROPRIETAIRES

FORAGES	SAL TOT me/l	SAL NaCl me/l
MONTOIDIER	5.25	1.15
MAULE	6.8	4.2
ST ILLIERS	8.6	6.2
AUVERNAUX	10.25	4.1
aux MARAIS	10.55	5.9
ST MAUR	3.6	0.8

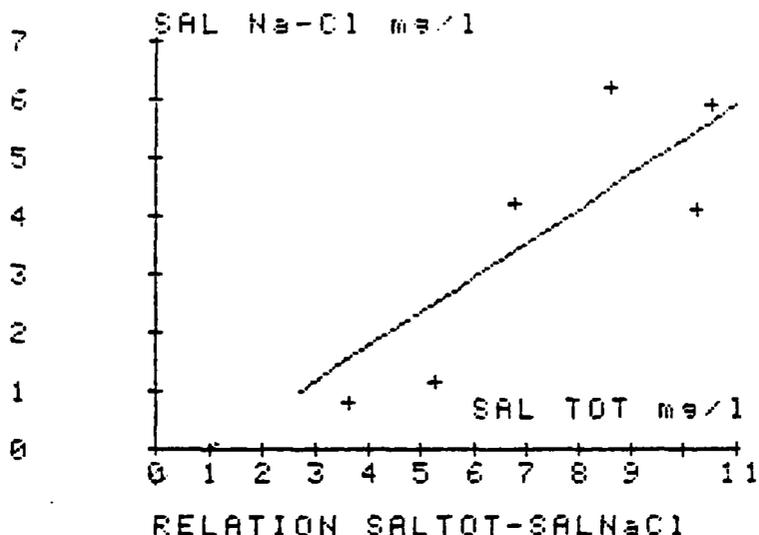
ANO: REG LINEAIRE: CODE 1

SOURCE/DF	SS	MS	F
TOTAL 6	38.3		
REG 1	30.1	30.1	18.4
RESID 5	8.2	1.6	

R CARRE = 0.786

YHAT = -0.590 + 0.588 X

X(I)	Y(I)	YHAT	RESIDUELS
0.00	0.00	-0.59	0.59
3.60	0.80	1.53	-0.73
5.25	1.15	2.50	-1.35
6.80	4.20	3.41	0.79
8.60	6.20	4.46	1.74
10.25	4.10	5.43	-1.33
10.55	5.90	5.61	0.29



ANNEXE 3 C

RELATION
SALINITE TOTALE- SALINITE Na-Cl
CALCAIRES SEQUANIENS

FORAGES	SAL TOT me/l	SAL NaCl me/l
1a MADELEINE	2.1	0.25
POLIGNY	3.2	0.95
RUFFERVILLE	3.4	1.20
ST PIERRE	4.26	1.25
VILLEMER	6.85	2.25

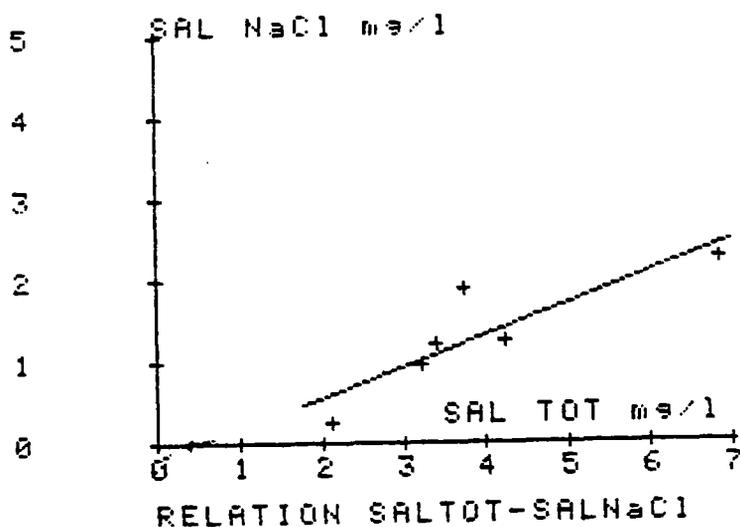
ANO: REG LINEAIRE: CODE 1

SOURCE/DF	SS	MS	F
TOTAL 5	2.5		
REG 1	1.9	1.9	11.5
RESID 4	0.6	0.2	

R CARRE = 0.742

$$\hat{Y} = -0.193 + 0.380 X$$

X(I)	Y(I)	YHAT	RESIDUELS
4.26	1.25	1.43	-0.18
3.75	1.90	1.23	0.67
6.85	2.25	2.41	-0.16
3.20	0.95	1.02	-0.07
3.40	1.20	1.10	0.10
2.10	0.25	0.61	-0.36



ANNEXE 4

B I B L I O G R A P H I E

Liste des principaux ouvrages géologiques et rapports géothermiques
concernant le Lusitanien :

- 1 - "*Potentiel Géothermique du Bassin Parisien*" (1976)
B. HOUSSE, Ph. MAGET
A.C. DGRST/BRGM/ELF Aquitaine - Ed. BRGM -
- 2 - "*Synthèse géologique du Bassin de Paris*" (1980)
Mémoire du BRGM n° 101, 102, 103.
- 3 - "*Possibilités géothermiques de la Région Champagne-Ardenne*" (1979)
Ph. MAGET, D. RAMBAUD
Rapport BRGM n° 79 SGN 739 GTH/CHA.
- 4 - "*Ressources géothermiques dans le département de l'Essonne*" (1981)
Ph. MAGET
Rapport BRGM n° 81 SGN 557 GTH.
- 5 - "*Inventaire des ressources géothermiques à Paris*" (1981)
J. ROJAS, Ph. MAGET
Rapport BRGM n° 81 GTH 14 RER.
- 6 - "*Etudes sédimentologique et diagénétique d'un réservoir gréseux en milieu carbonaté : la formation des "Sables de Glos" du Jurassique supérieur du Bassin de Paris*" (1981)
EL. KADI
Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Paris VI/IFP.
- 7 - "*Ressources géothermiques en Val d'Oise*" (1982)
Ph. MAGET
Rapport BRGM n° 82 SGN 017 GTH.
- 8 - "*Forage géothermique de Reims - Rapport de fin de sondage du puits de production GMu 1"*. (1982)
D. RAMBAUD.
Rapport BRGM n° 82 SGN 282 GTH.
- 9 - "*Doublet géothermique d'Orly - Test du Lusitanien sur le forage de production*" (1982)
GEOTHERMA.

ANNEXE 5

PROPOSITION
D'UN
PROGRAMME DE RECHERCHE

Devant l'importance que prend le Lusitanien dans la région parisienne en tant qu'objectif géothermique, aussi bien sur le plan ressource (données et indices favorables) que sur le plan utilisation (très forte demande et approche de la saturation pour le Dogger), il est proposé un programme de recherche pouvant s'adapter à une opération industrielle.

Ce programme comporte plusieurs volets dont l'association dépendra d'une part des conditions de réalisation technique, d'autre part du financement accordé.

DESCRIPTION DU PROGRAMME :

Une reconnaissance complète du Lusitanien comporte trois types d'opérations :

1 - Diagraphies :

- Gamma ray (déjà prévu avec un Sonic compensé)
- Densité - Neutron (FDC - CNL ou LDT - CNL)
- Résistivité (DLL).

Enregistrement CSU pour établissement d'un faciolog et pour tout traitement ultérieur en relation avec les enregistrements de perméabilité.

Intervalle de mesure : calcaire (et grès éventuellement) du Séquanien et Rauracien, soit une hauteur 250 m (hauteur verticale).

2 - Carottage :

2.1 - Prise de carottes dans les calcaires oolithiques et graveleux du sommet du Rauracien (et base du Séquanien, suivant place du repère stratigraphique). Repère d'après analyse des déblais et avancement.

Longueur minimale : 18 m ; mais en raison du risque d'erreur le repère : 27 m.

Carottes de 9 m au maximum pour une récupération correcte ; au delà, la détérioration de la carotte est certaine, ce qui rendrait l'opération inutile.

2.2 - Mesures sur carottes :

- . porosité micro- et macro -
- . perméabilité
- . analyse (microstructure, cimentation, ...).

3 - Essai de productivité

3.1 - Test DST

Sur l'intervalle correspondant au carottage, avec une sonde "Flopétrol".

- 3.2 - Essai en "air-lift" si le programme de forage peut comprendre le tubage en 9"5/8 (donc forage en 12"1/4) jusqu'au toit du Séquanien et non au toit du Purbeckien (hauteur supplémentaire de 270 m environ).
Enregistrement des pressions et mesure au débitmètre.

REALISATION DU PROGRAMME

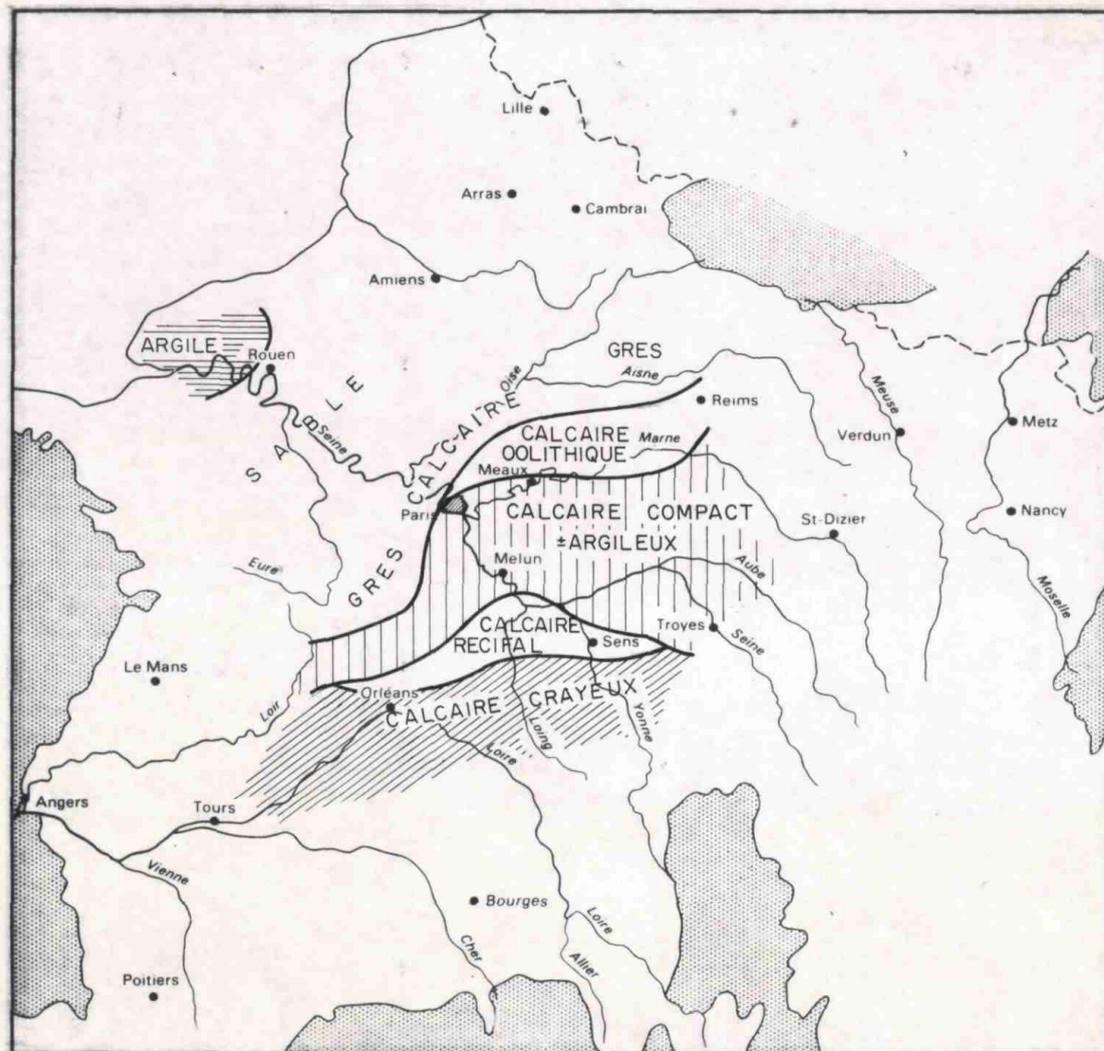
La description précédente comprend toutes les opérations possibles de reconnaissance, sans considération de contraintes, techniques d'une part (forage en déviation), budgétaires d'autre part.

Le tableau suivant présente les phases envisageables et souhaitables en partant d'un programme maximal autorisé jusqu'au programme minimal.

		Forage	
		<u>vertical</u>	<u>dévié</u>
MAX.	1°	1, 2 , 3.2	1, (2↓?) , 3.2 ou analyse déblais
	2°	1, 2 , 3.1	1, 3.2
	3°	1, 3.1	1.
MIN.	4°	1.	

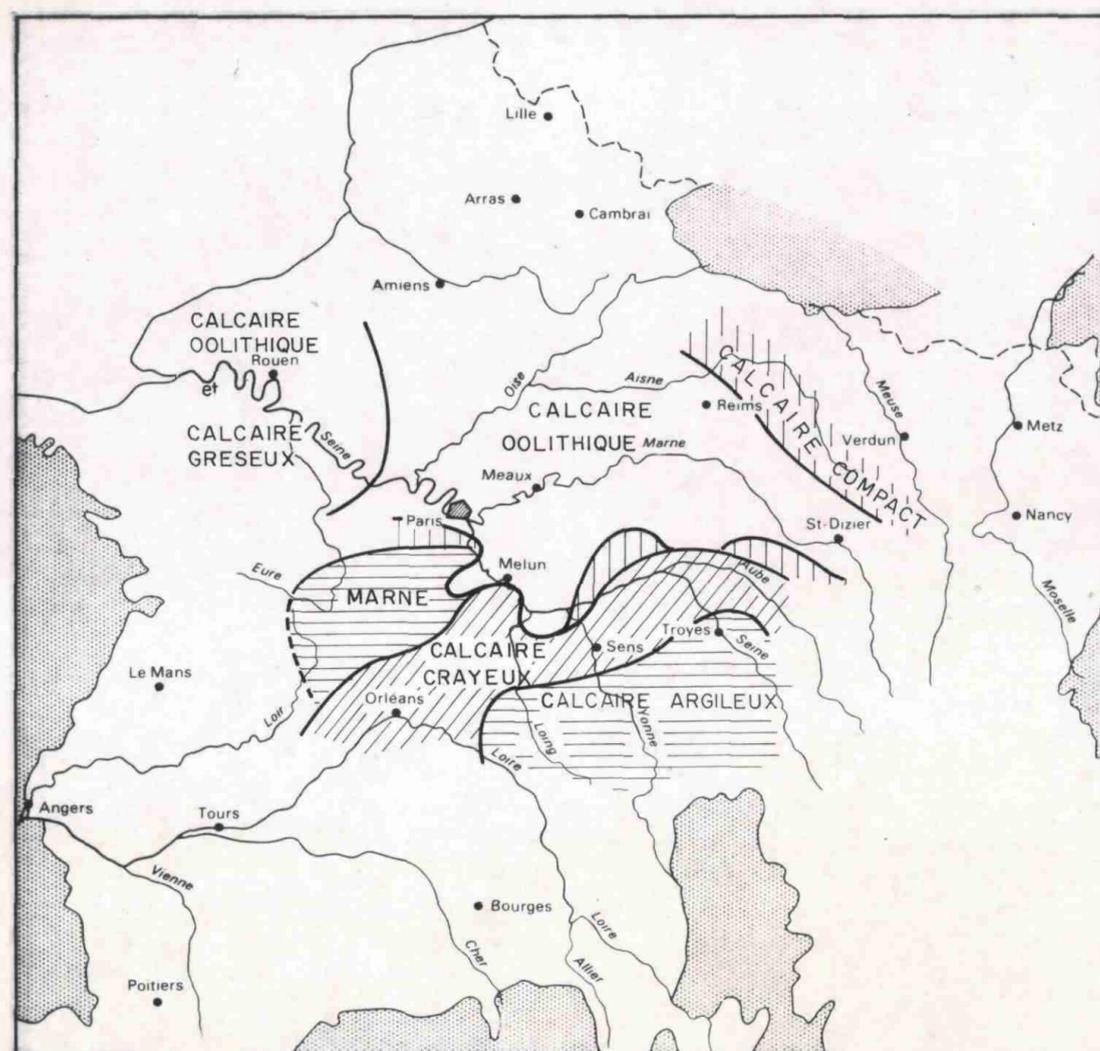
A

LUSITANIEN
LITHOFACIES DU SEQUANIEN



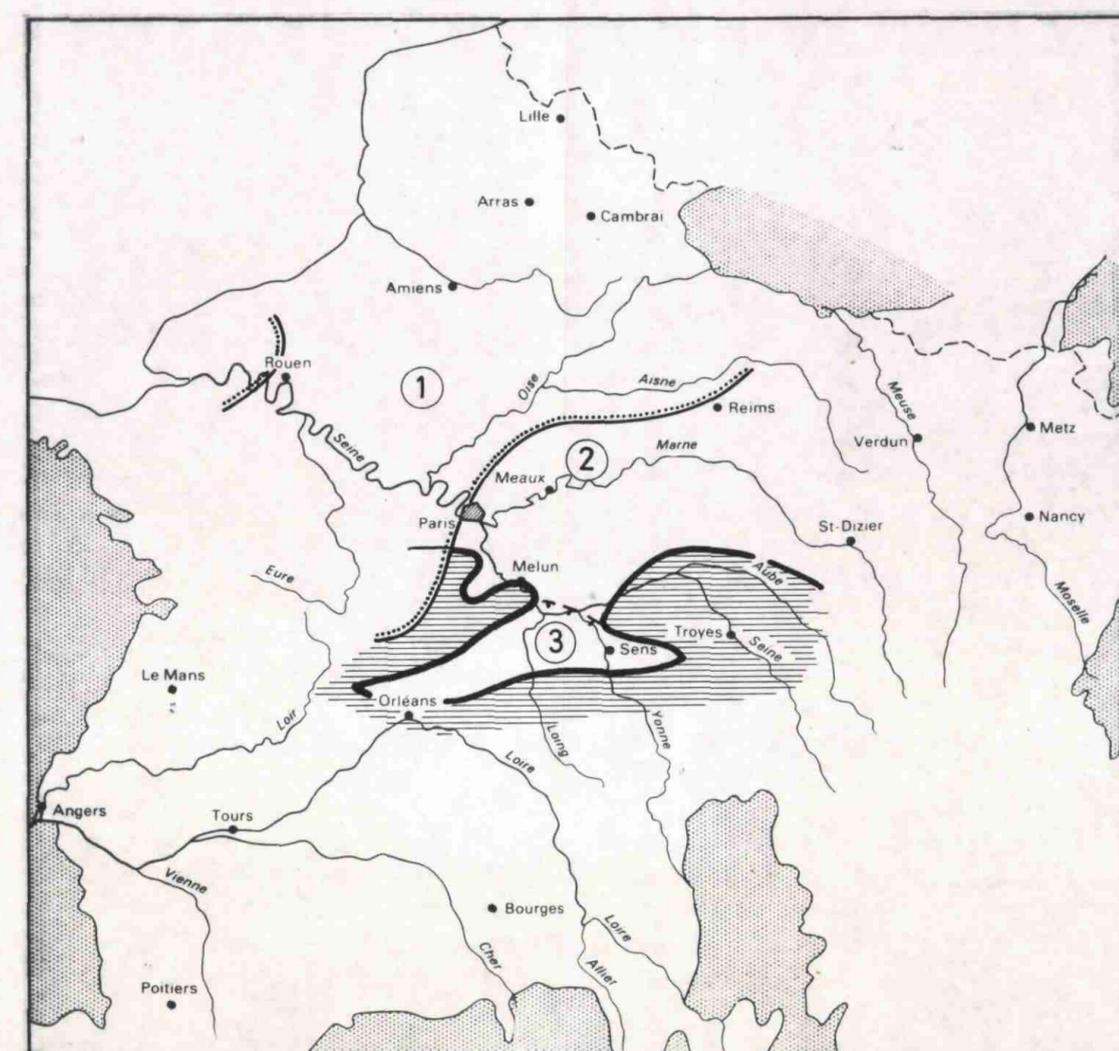
B

LUSITANIEN
LITHOFACIES DU RAURACIEN



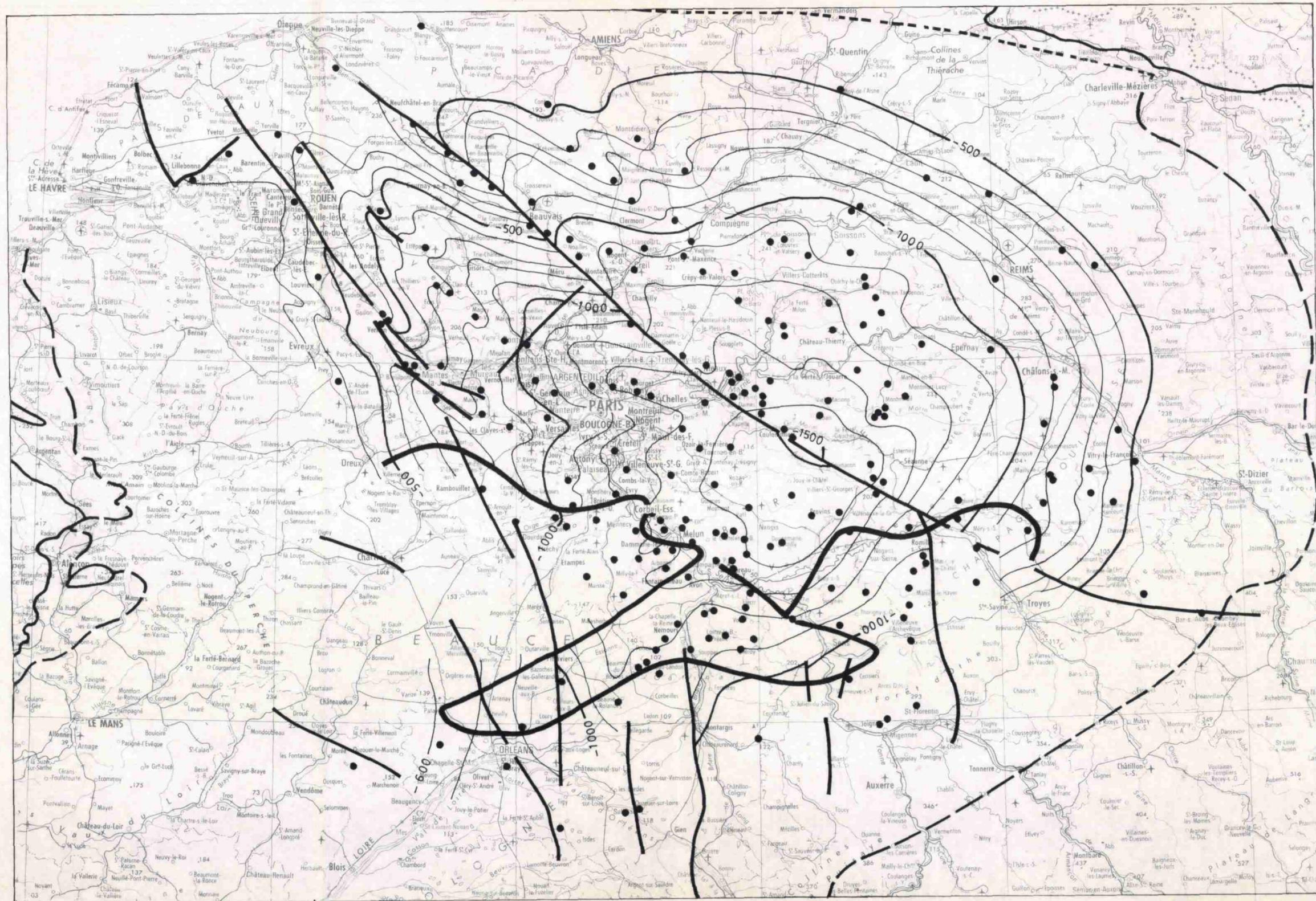
C

ENVELOPPE DES FORMATIONS AQUIFERES
DU LUSITANIEN



Echelle: 1/3000.000

- ① Sable et grès du Séquanien + calcaire oolithique du Rauracien
- ↔ Limite d'extension des sables et grès du Séquanien
- ② Calcaire oolithique du Rauracien (peut inclure celui du Séquanien au nord de la Marne, mais limite stratigraphique douteuse)
- ③ Calcaire oolithique et récifal du Séquanien
- ↖ Limite septentrionale des calcaires du Séquanien d'épaisseur supérieure à 5m
- ▨ Formations imperméables : marnes
calcaire crayeux (poreux mais non perméable)



BASSIN PARISIEN LUSITANIEN PROFONDEUR



CCE
n°EGA-1-037-F

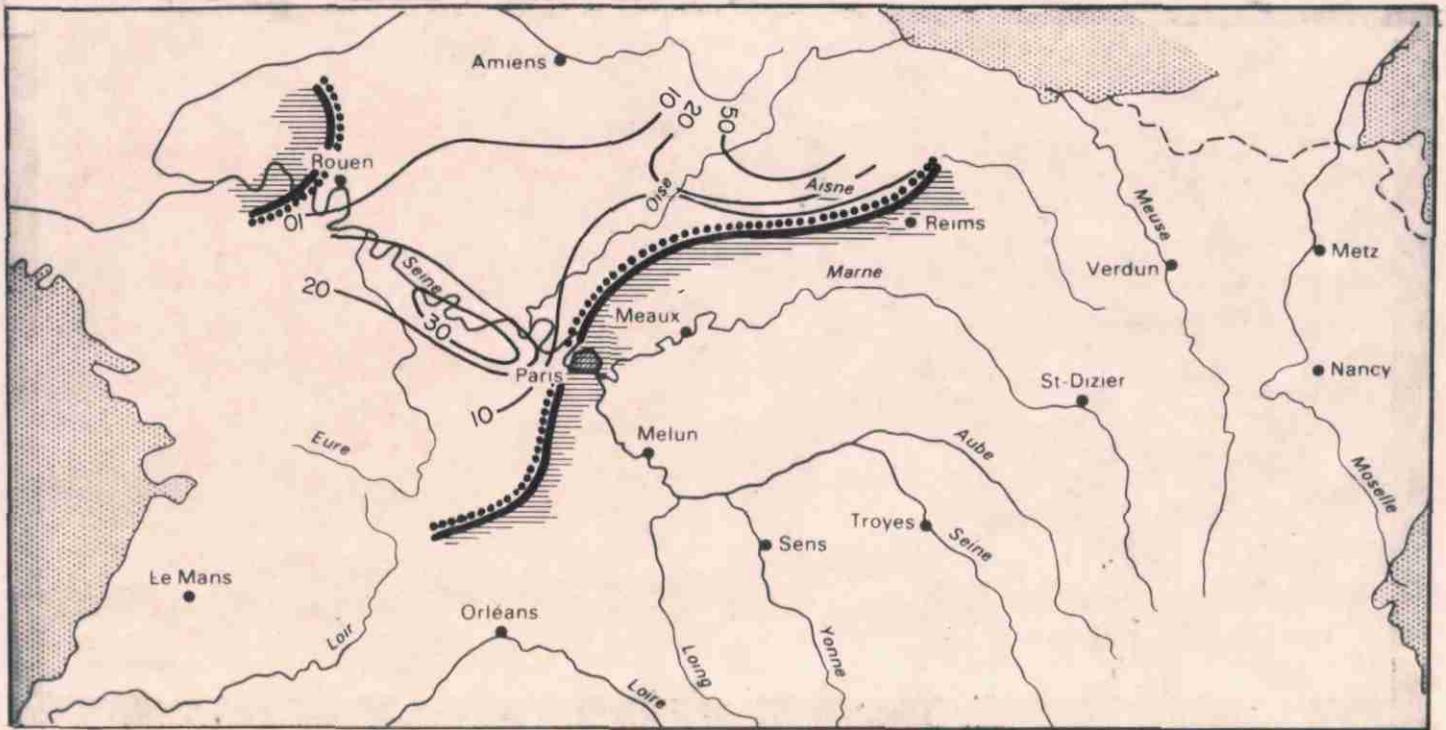
Echelle 1/1000000

- Limite du socle
- - - Affleurement au toit du Lusitanien
- · - · - · - · Limite d'extension du Lusitanien sous recouvrement
- Limite d'extension de la formation aquifère
- 500— Courbe d'égale profondeur au toit des calcaires du Rauracien (en m NGF)
- Forage atteignant le Lusitanien
- Faille majeure affectant le Lusitanien

EPAISSEUR DES BANCS POREUX
DU LUSITANIEN

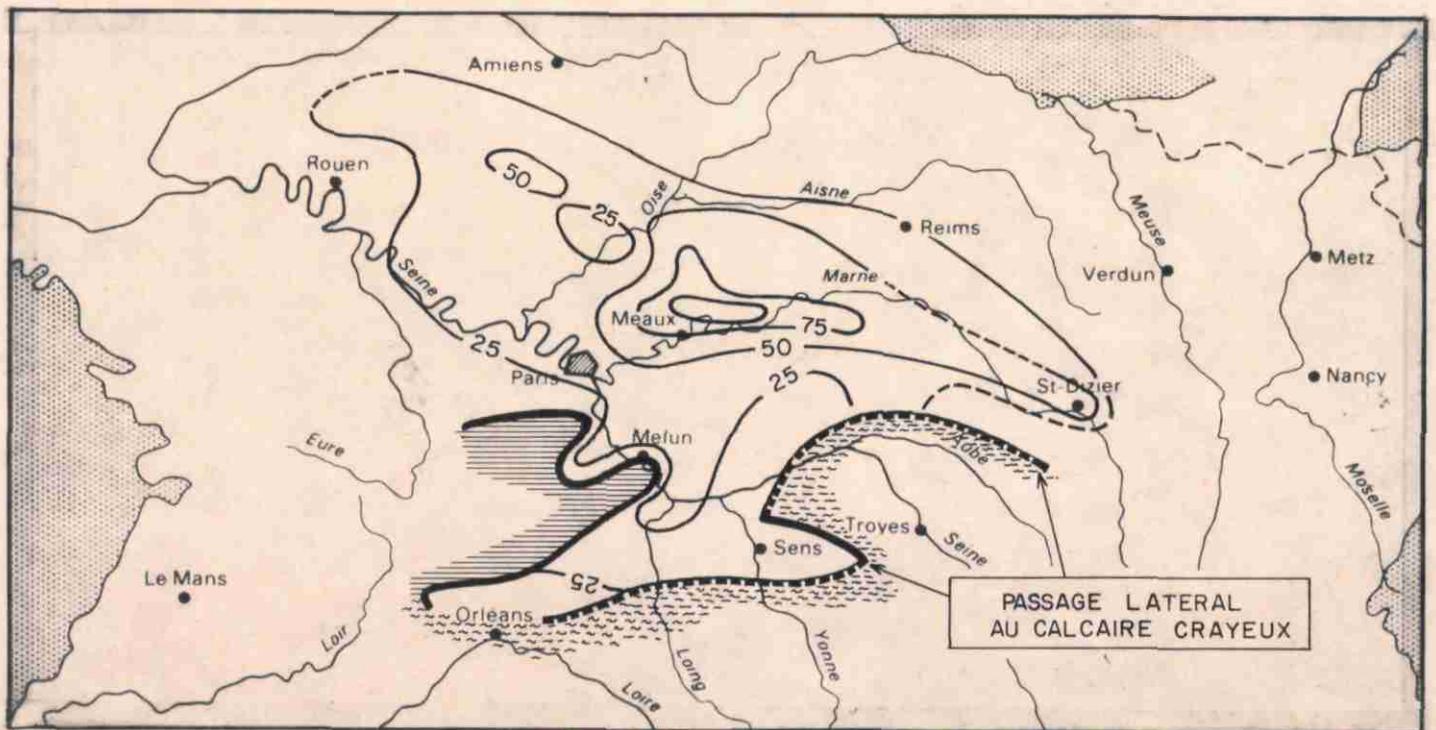
(A)

SABLES DU SEQUANIEN



(B)

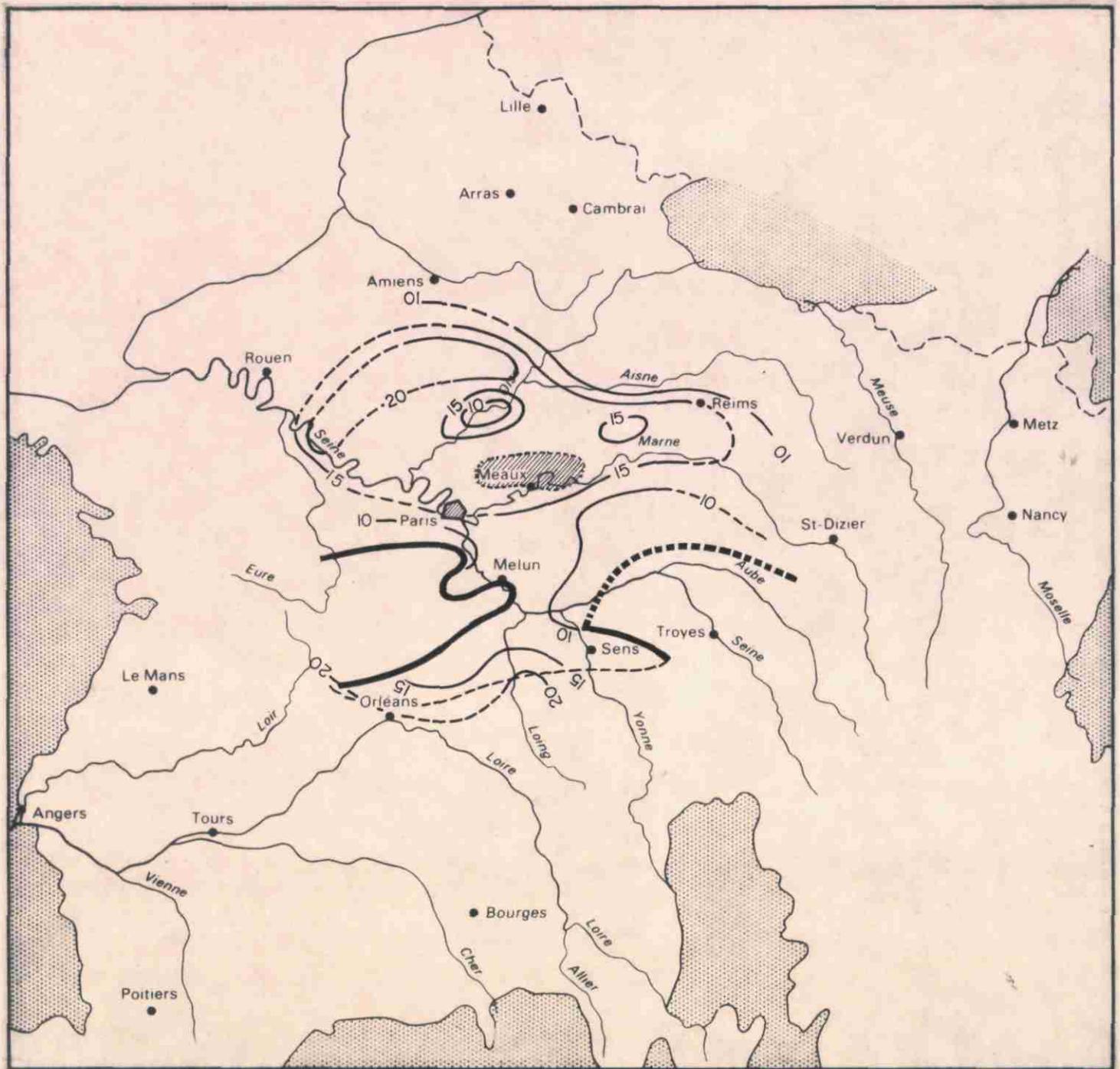
CALCAIRE DU LUSITANIEN



PASSAGE LATERAL
AU CALCAIRE CRAYEUX

LUSITANIEN

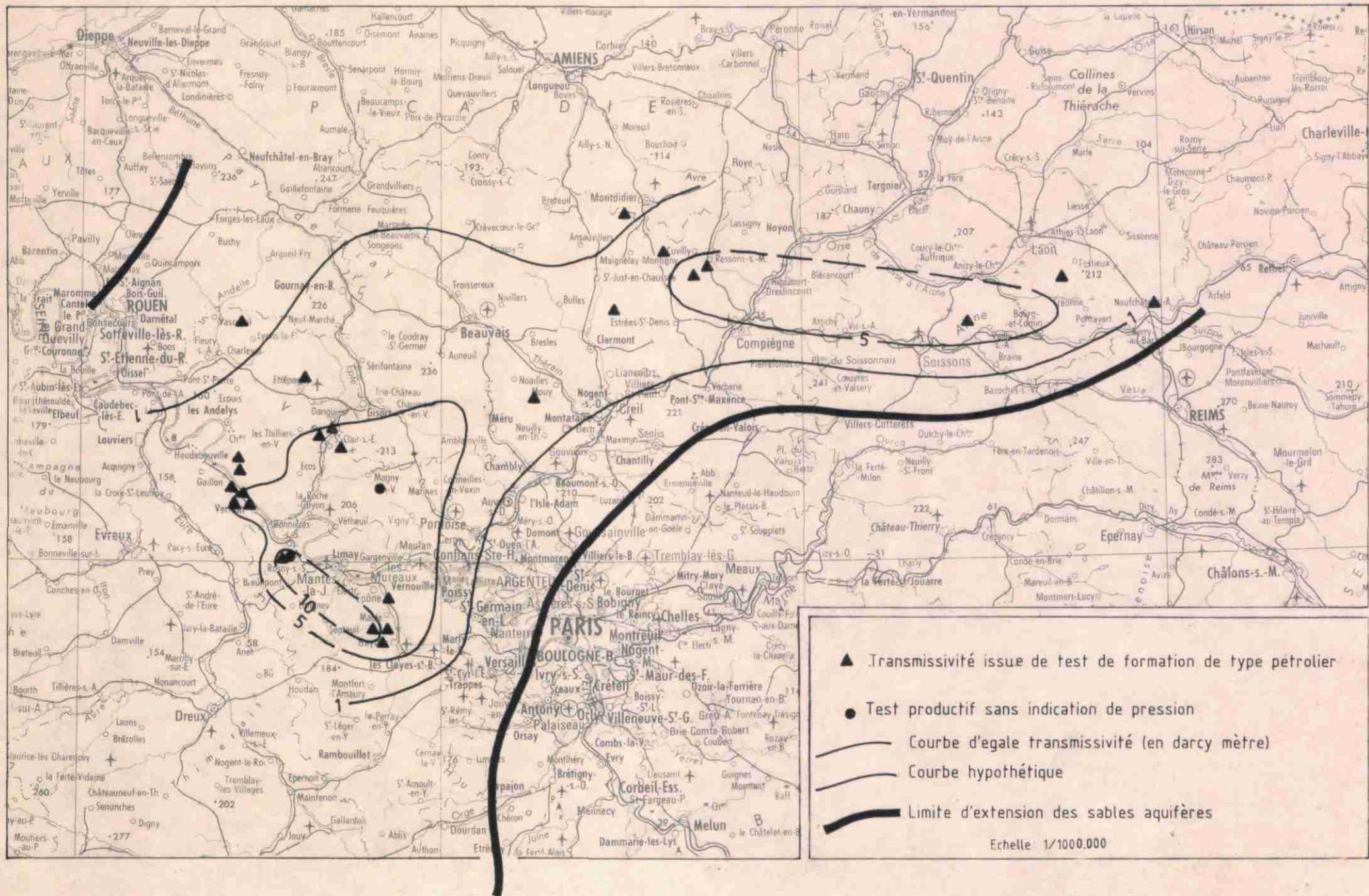
POROSITE MOYENNE DES CALCAIRES OOLITHIQUES



Echelle: 1/3000.000

-  Limite d'extension des calcaires poreux .
-  Passage latéral au calcaire crayeux
-  15 - Courbe d'égale porosité moyenne sur la hauteur utile potentielle (%)
-  Courbe hypothétique
-  Extension du banc à plus de 20% de porosité à l'est de Paris

LUSITANIEN: SABLES DU SEQUANIEN TRANSMISSIVITE

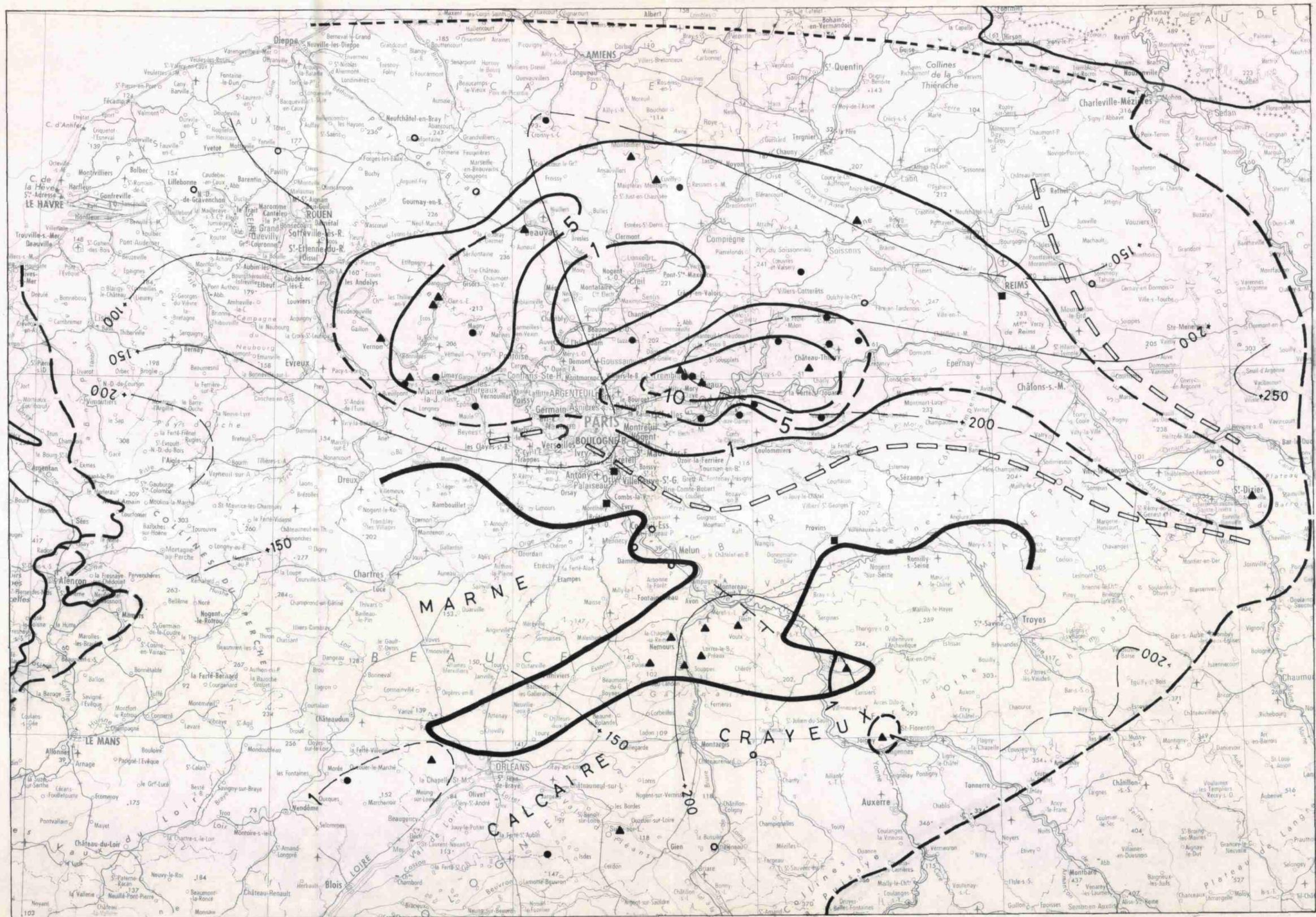


BASSIN PARISIEN LUSITANIEN PRODUCTIVITE DES CALCAIRES DU RAURACIEN



CCE
n°EGA-1-037-F

Echelle 1/1000000



- Limite du socle
- - - Affleurement au toit du Lusitanien
- - - Limite d'extension du Lusitanien sous recouvrement
- Transmissivité issue d'un essai de production (forage géothermique)
- ▲ Transmissivité issue de test de formation de type pétrolier
- Test productif sans mesure de pression
- Test sec
- ┆ — Courbe d'égale transmissivité (en darcy mètre)
- - - Courbe hypothétique
- ▭ Limite pratique de l'aquifère du Rauracien
- ▬ Limite d'extension des formations pouvant être aquifères
- ┆ — Limite nord des calcaires aquifères du Séquanien
- +150 — Courbe piezométrique approximative (cote NGF)

BASSIN PARISIEN LUSITANIEN

CARACTERISTIQUES DU FLUIDE



CCE
n°EGA-1-037-F

Echelle 1/1000000

- Limite du socle
- - - Affleurement au toit du Lusitanien
- - - - Limite d'extension du Lusitanien sous recouvrement
- Limite d'extension des formations pouvant être aquifères

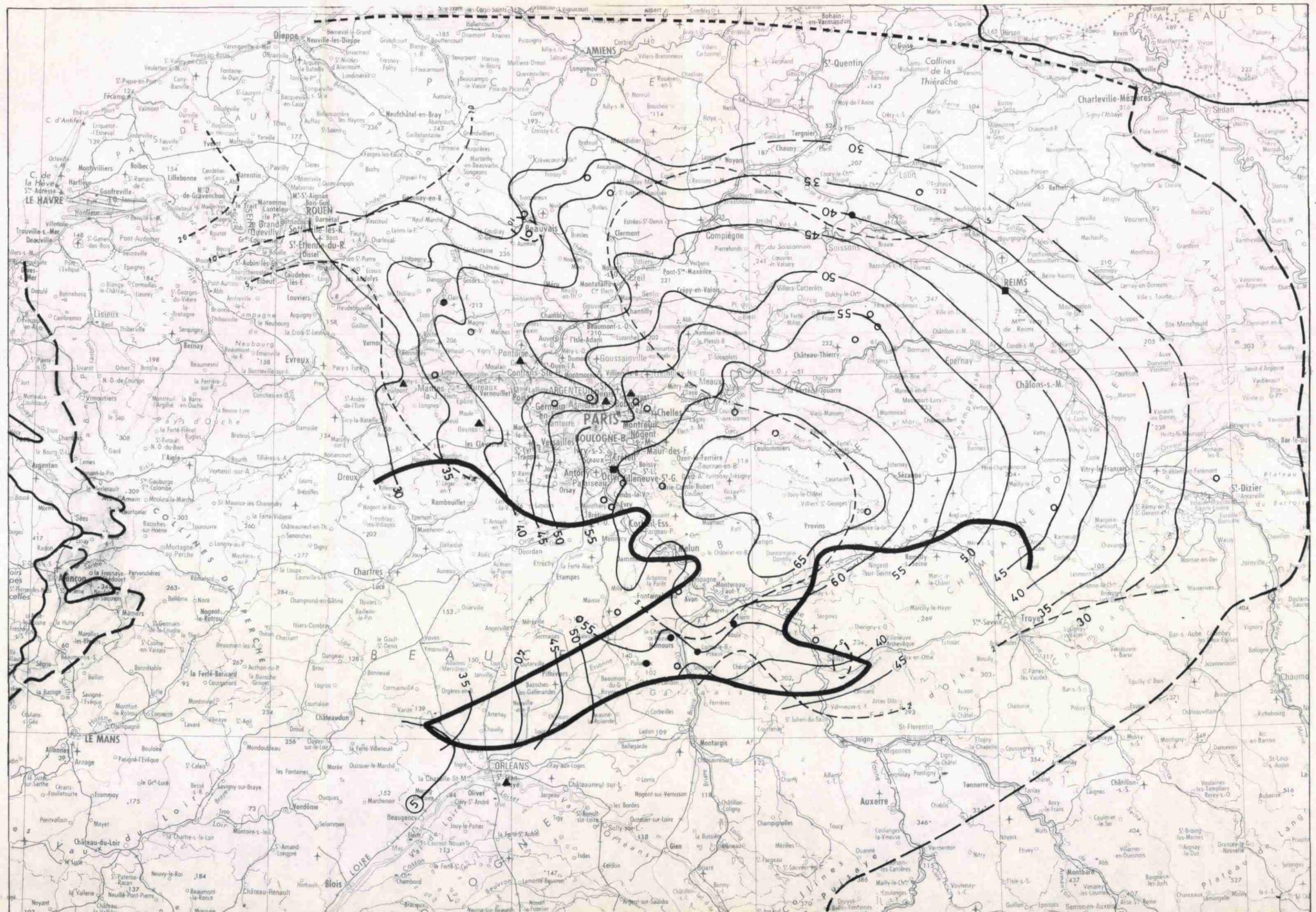
TEMPERATURE :

- Mesure de fond en production
- ▲ Thermométrie statique
- Mesure de test au niveau du Lusitanien
- Extrapolation d'une mesure de test à un autre niveau

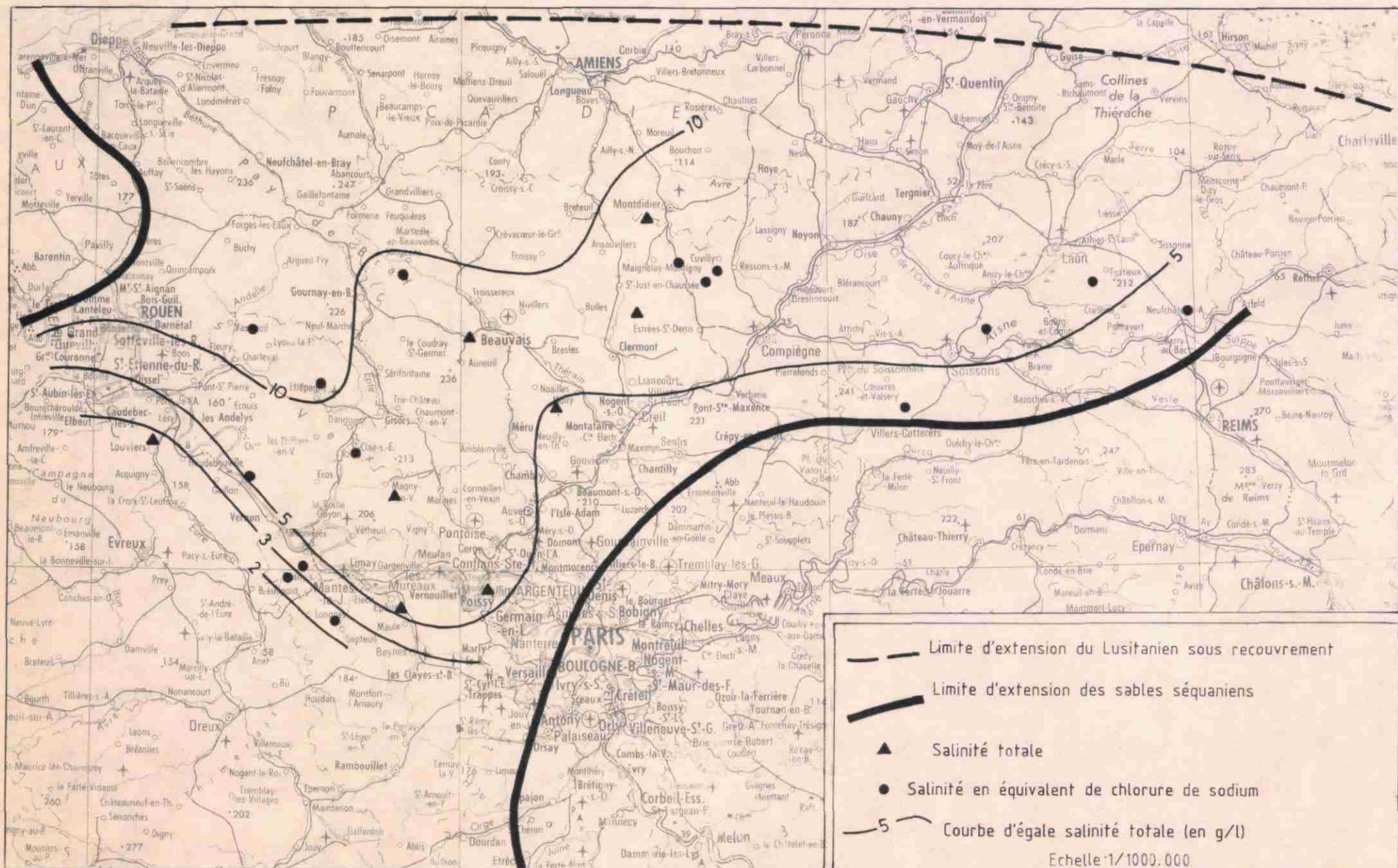
20 — Courbe d'egale température au toit du Rauracien (°C)

SALINITE :

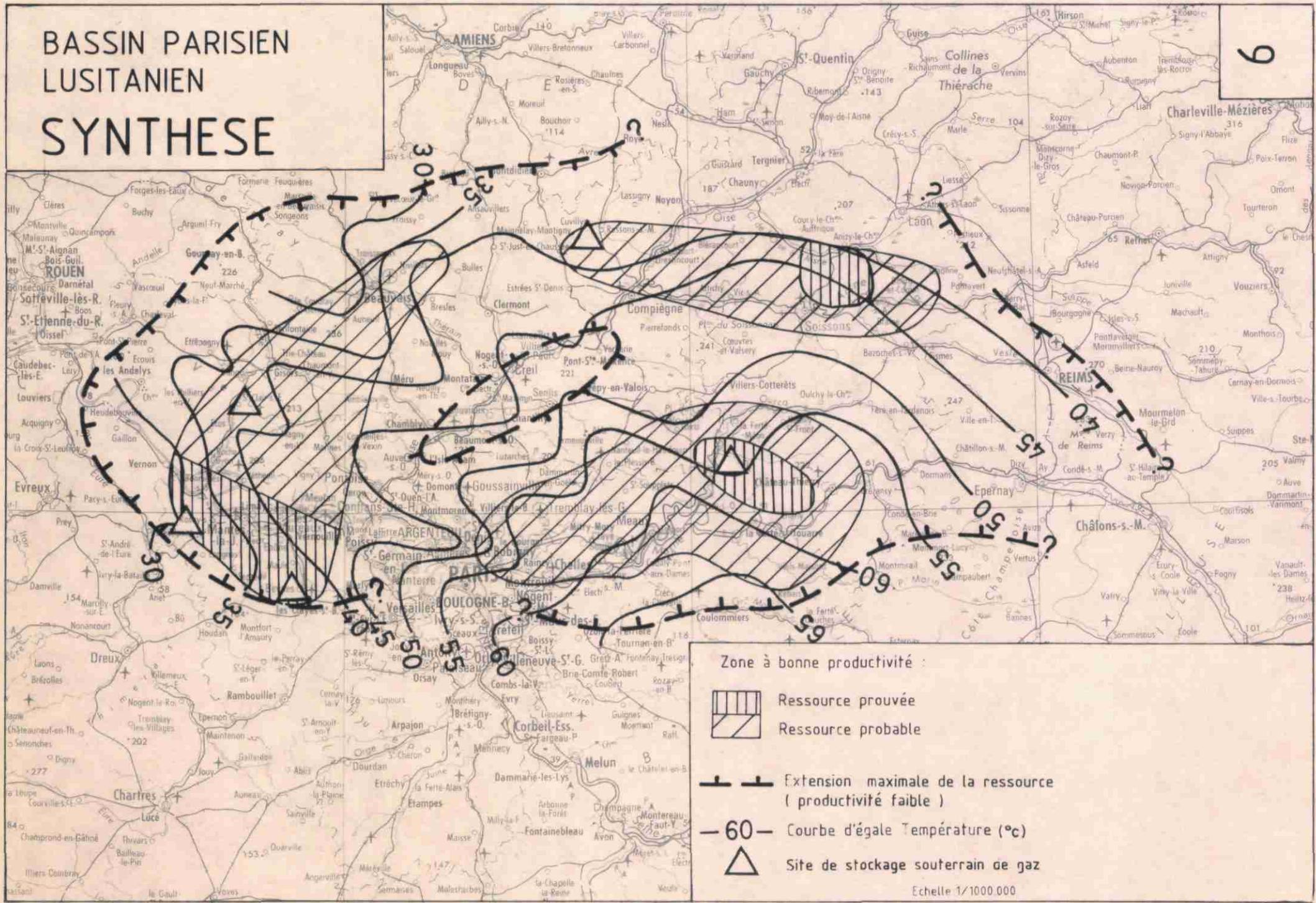
2 - - - Courbe d'egale salinite totale de l'aquifère calcaire (en g/l)



LUSITANIEN: SABLES DU SEQUANEN SALINITE

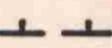


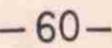
BASSIN PARISIEN LUSITANIEN SYNTHESE



Zone à bonne productivité :

-  Ressource prouvée
-  Ressource probable

 Extension maximale de la ressource (productivité faible)

 - 60 - Courbe d'égale Température (°C)

 Site de stockage souterrain de gaz

Echelle 1/1000 000