**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE (BOUCHES-DU-RHONE)

## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

PAR

A.CLOT ET Ch. GLINTZBOECKEL

**Service géologique régional PROVENCE – CORSE**

Domaine de Luminy – route Léon-Lachamp, 13009 Marseille

Tél.: (91) 41.26.04 et 41.24.46

78 SGN 321 PRC

MARSEILLE, MAI 1978

SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE AEROSPATIALE
ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE (BOUCHES DU RHONE)

AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

PAR

A. CLOT ET Ch. GLINTZBOECKEL

78. SGN.321.PRC. MARSEILLE, LE 28 MAI 1978

## R E S U M E

La présente étude a été effectuée pour le compte de la SNIAS (Société Nationale Industrielle Aérospatiale) ; elle a comme objet d'évaluer les possibilités d'utilisation des ressources géothermiques dans les limites de l'Etablissement de MARIGNANE et d'examiner l'aspect technique et économique du problème.

L'Etablissement de la SNIAS jouxte l'aéroport civil de MARIGNANE.

Pour mener à bien cette étude, il a fallu examiner l'ensemble du bassin de l'Arc du point de vue paléogéographique, structural, hydrogéologique et géothermique. Environ 300 sondages ont été étudiés et les résultats ont été raccordés avec les données de la géologie de surface.

Les formations fluvio-lacustres (Rognacien à Valdonnien) sont affectées d'importantes variations de faciès et d'épaisseur. Le secteur de MARIGNANE se situe approximativement dans l'axe d'un synclinal (dit synclinal médian) dans lequel la série médio-crétacée est conservée dans sa majeure partie et couvre ainsi l'Urgonien ; au Nord de MARIGNANE les marges du synclinal sont progressivement érodées et vers le Nord (chaîne de La Fare) le Santonien repose directement sur l'Urgonien.

L'esquisse structurale du toit de l'Urgonien traduit la géométrie du bassin. Celui-ci est scindé en deux parties :

- la partie orientale qui présente une déformation anticlinale centrée sur le massif jurassique du Regagnas.

- la partie occidentale se présentant comme une déformation synclinale centrée sur l'Etang de Berre ; les deux ensembles structuraux sont séparés par une zone complexe correspondant soit à un synclinal aigu de direction Nord-Sud, soit à un accident dit " méridien " (décrochement ?).

Les formations fluvio-lacustres sont très peu perméables ; le Crétacé supérieur peut présenter une perméabilité tandis que l'Aptien essentiellement marneux est imperméable.

Le Barrémien est constitué par une épaisse série de calcaires à faciès urgoniens ; il peut constituer un réservoir important dans la mesure où il est fissuré.

Sur les marges du synclinal l'Urgonien est karstifié tandis que dans son axe cette formation est couverte par des marnes de l'Aptien. Le degré de fissuration de l'Urgonien sera donc plus fonction de la tectonique(failles) que de la karstification. L'Urgonien constitue le seul objectif de recherche d'un aquifère profond.

Dans le bassin de l'Arc des manifestations thermales sont connues à AIX-en-PROVENCE (33° C aux Thermes Sextius), à CALISSANNE (source salée 600 mgr/l - NaCl - 16°6 C), dans le tunnel du ROVE (30° C) et à CALAS (sondage CA.2 tp.> 31° C à 280-300 m de profondeur). Les manifestations géothermiques sont probablement liées directement ou indirectement à des accidents profonds.

Des thermométries continues effectuées dans les sondages profonds implantés à l'Ouest ou au Nord-Ouest de GARDANNE par HBCM, indiquent des températures peu élevées (30° C - 36° C) entre 1200 et 1300 m de profondeur ; ces valeurs ne sont pas significatives (écart par défaut d'environ 10° C?).

Compte tenu du débit et de la température souhaités on ne peut garantir le succès de l'opération car les caractéristiques hydrauliques du réservoir urgonien ne sont pas connues et pourraient être médiocres.

Un sondage d'environ 2.000m de profondeur est proposé lequel aurait un caractère de reconnaissance mais pourrait être exploité.

L'utilisation des ressources géothermiques pour le chauffage des locaux (bureaux, ateliers) a été étudiée et un schéma thermique est proposé. La rentabilité de l'opération a été examinée (investissements, exploitation, rentabilité globale).

Une étude technique du sondage a été effectuée et le coût de l'ouvrage a été évalué.

Sur le plan thermique, l'utilisation de la géothermie pour le chauffage des locaux de la SNIAS à MARIGNANE est très intéressante mais la principale inconnue concerne l'importance du débit.

Ce rapport a été réalisé par :

Ch. GLINTZBOECKEL (synthèse géologique) - Ingénieur géologue au SGR/PCA
A. CLOT (étude thermique) - Ingénieur au Département Géothermie

et avec la collaboration de :

D. FERLAY - Dessinateur
G. ROSSI - Secrétariat

le rapport contient 79 pages, 14 figures et 10 annexes.

# 1

# INTRODUCTION

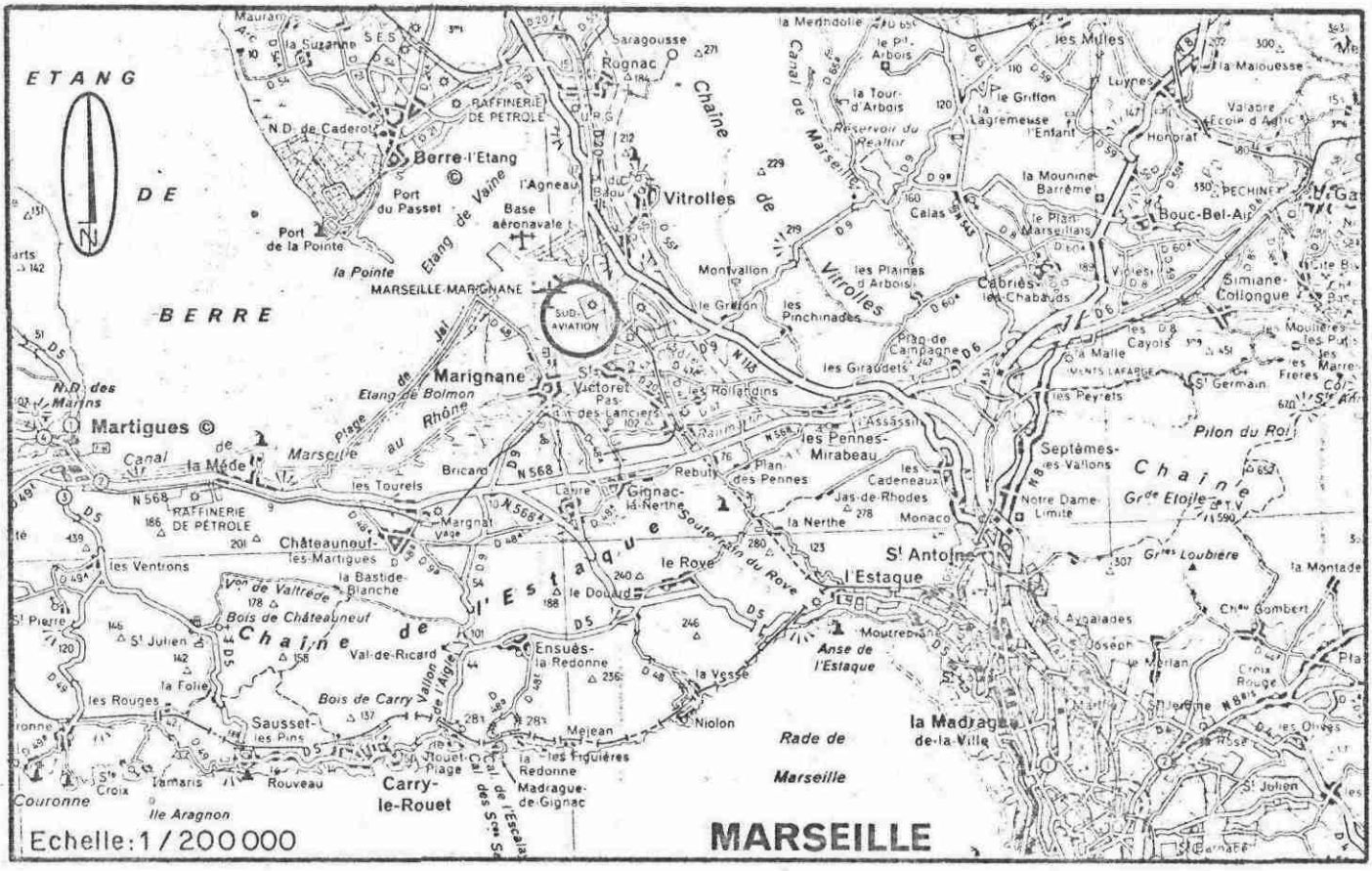
## 1.1. - OBJET DE L'ETUDE

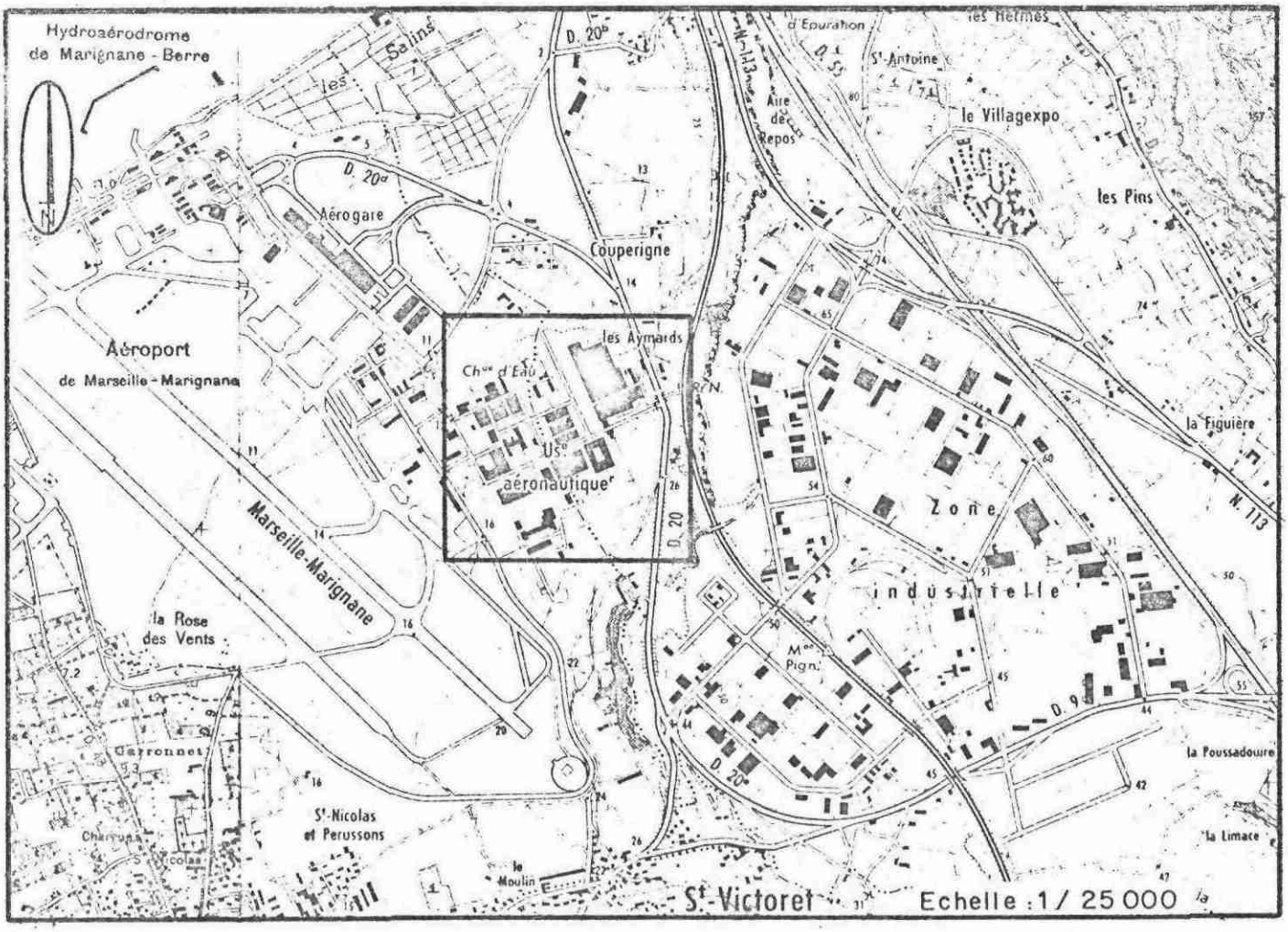
La présente étude a comme objet :

- d'examiner les données géologiques et hydrogéologiques du secteur de MARIGNANE et, dans un sens plus large, de l'ensemble du bassin de l'Arc, afin de pouvoir évaluer dans quelles conditions un sondage profond a des chances de trouver un réservoir aquifère pouvant fournir un débit important d'eau.

- d'étudier l'aspect technique du problème : évaluation du débit et de la température de l'eau indispensable pour obtenir dans diverses hypothèses d'utilisation, un résultat économiquement acceptable.

Fig.: 1




# PLAN DE SITUATION DE L'AEROSPATIALE A MARIGNANE

78 SGN 321 PRC

## 1.2. - SITUATION GEOGRAPHIQUE (voir figure 1)

L'Etablissement de l'Aérospatiale se situe en bordure orientale de l'Etang de Berre et jouxte l'aéroport civil de MARIGNANE; la route départementale qui relie MARSEILLE à l'aéroport (D20d) constitue la limite orientale de l'Etablissement.

Les coordonnées moyennes sont les suivantes :

Feuille de MARTIGUES n°7 à l'échelle 1/20.000

x = 834,150
y = 130,400
z = + 15

## 1.3. - METHODOLOGIE

L'essentiel des données a été fourni par la documentation archivée au Service Géologique Régional du B.R.G.M. au Titre du Code Minier.

Nous avons également disposé des cartes géologiques à l'échelle 1/50.000e d'AIX-en-PROVENCE et de MARTIGUES (en cours d'édition) ainsi que de documents bibliographiques.

Les données géologiques profondes proviennent principalement :

- des sondages pétroliers (Peaudure 1, Fos 1, Istres 101 et Eguilles 1)
- des sondages de reconnaissance H.B.C.M. (Houillères de bassin du Centre et du Midi); la campagne qui a débuté en 1976 est actuellement encore en cours.

Pour mener à bien cette étude nous avons examiné et interprété environ 300 sondages; les données sont toutefois surtout concentrées dans le secteur de GARDANNE.

Le problème étant l'implantation éventuelle d'un sondage profond dans la région de MARIGNANE, il s'avérait indispensable d'étudier la géométrie profonde du bassin ainsi que la paléogéographie des formations concernées.

Toutes les données de surface et de subsurface ont été étudiées et interprétées, et une synthèse des résultats a été effectuée; des documents cartographiques à l'échelle 1/100.000e ont été établis.

Il faut cependant préciser que malgré le nombre de sondages réalisés dans le bassin, les données sont très insuffisantes pour pouvoir établir des documents cartographiques précis; ceux-ci constituent donc plutôt des esquisses dressées à partir de points de contrôle (sondages, surface), et devront donc être considérées comme très interprétatives; les données sont, en effet, concentrées en quelques zones (GARDANNE, BERRE) et quasiment absentes entre VITROLLES et AIX-en-PROVENCE .

# 2

# ETUDE GEOLOGIQUE

## 2.1. - CADRE GEOLOGIQUE (voir annexe 1)

L'Etablissement de l'Aérospatiale à MARIGNANE se situe dans un bassin fluvio-lacustre désigné généralement sous le nom de bassin de l'Arc (nom qui sert également à désigner le bassin hydrographique) ou bassin d'AIX-en-PROVENCE.

La zone orientale, plus particulièrement constituée de Crétacé supérieur, est généralement désignée sous le nom de bassin de GARDANNE; la zone centrale constituée d'Eocène et d'Oligocène est appelée improprement bassin d'AIX-en-PROVENCE; elle se subdivise en deux secteurs: celui que nous désignerons sous le nom d'Arbois en ce qui concerne l'Eocène et celui des Milles en ce qui concerne l'Oligocène. La zone occidentale, qui constitue, à partir du méridien de VITROLLES, l'ennoyage du bassin fluvio-lacustre sous le Miocène d'ISTRES-MIRAMAS et le quaternaire de la Crau, est généralement désignée sous le nom de bassin de l'Etang de Berre; c'est dans ce bassin que se situe l'Etablissement de l'Aérospatiale de MARIGNANE.

Le bassin de l'Arc est limité :

Au Nord par le chaînon de la Fare (flanc sud d'un anticlinal) et la montagne Ste Victoire (pli complexe chevauchant vers le Sud); ces deux chainons sont séparés, selon le méridien d'AIX-en-PROVENCE, par la dépression des MILLES qui cache la structure des formations plus anciennes.

A l'Est, par la "bande jurassique d'OLLIERES" qui s'ennoie vers l'Ouest sous les formations fluvio-lacustres.

Au Sud, par les massifs de la Nerthe, de l'Etoile, de l'Olympe et de l'Aurélien (plis complexes chevauchant vers le Nord) dont les bordures sont très tectonisées. Les massifs de l'Etoile et de l'Olympe sont séparés par le massif du Regagnas (demi dôme autochtone dont le flanc sud est affecté d'accidents orientés grossièrement E-W).

A l'Ouest, par la fermeture du bassin fluvio-lacustre, laquelle se situe légèrement à l'Est du Rhône.

## 2.2. - LITHOSTRATIGRAPHIE

L'Etablissement de l'Aérospatiale à MARIGNANE est implanté sur le Rognacien inférieur (peu en dessous du "calcaire de Rognac" considéré comme Rognacien moyen).

Le Rognacien inférieur (fluviatile)

Cette formation affleure entre MARIGNANE et ROGNAC; elle est constituée essentiellement d'argile et de marne; elle comporte dans sa partie inférieure, un niveau calcaire à parfois pisolithique, ainsi que des niveaux gypseux.

Le Bégudien (fluviatile)(voir annexe 2)

Il est principalement argileux; dans sa partie supérieure l'on peut noter la présence de niveaux calcaires qui sont beaucoup plus développés dans la région de GARDANNE.

Dans sa partie inférieure des conglomérats peuvent se développer; ceux-ci constituent toute la partie inférieure du Bégudien dans la région de MARTIGUES et de St Mitre les Remparts.

La puissance du Bégudien est très variable (300-600m).

Le Fuvélien (lacustre) (voir annexe 3)

Le Fuvélien est bien connu dans le secteur de GARDANNE et de TRETS où il a fait l'objet de travaux miniers (exploitation de lignite).

Dans cette région le Fuvélien est principalement calcaire; il en est de même en bordure sud de la chaîne de La Fare, où une intercalation d'argile bariolée, à passées sableuses, s'intercale cependant dans la partie moyenne de la formation.

Vers l'ouest (Berre la Cigale et Fos) son épaisseur se réduit et le Fuvélien devient essentiellement argileux.

Le Valdonnien (lacustre) (voir annexe 4)

Cette formation est principalement argileuse dans le secteur de GARDANNE et de COUDOUX mais se charge progressivement en matériel détritique vers l'Est en direction d'OLLIERES et vers l'Ouest en direction de l'Etang de BERRE.

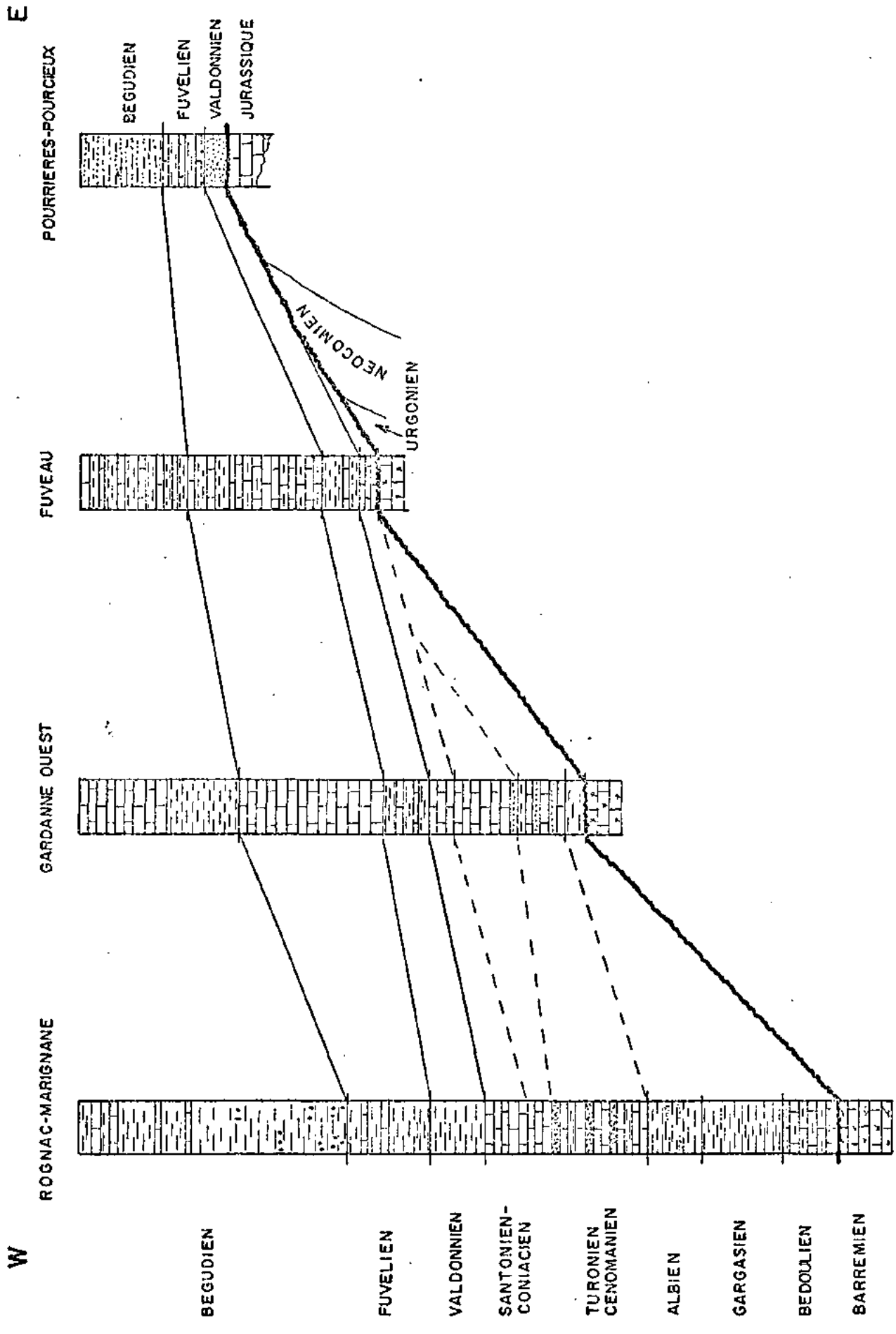



Fig. 2

SCHEMA ILLUSTRANT LES VARIATIONS D'EPAISSEURS ET DE LITHOFACIES DES FORMATIONS DANS LE BASSIN DE L'ARC

Cette formation n'est pas connue à l'ouest de l'Etang de Berre.

Entre le Valdonnien et le Santonien marin s'intercale une formation à faciès saumâtre dans la région de MARTIGUES et au Nord de l'Etang de Berre (série "du plan d'Aups")

Le Crétacé supérieur (marin) :

Le Crétacé supérieur marin n'est représenté dans la partie orientale du bassin que par le Santonien qui repose directement sur l'Urgonien au NE de GARDANNE; il est essentiellement calcaire.

Le Coniacien calcaire ainsi que le Turonien-Cénomanien (gréseux, marneux et calcaire) sont représentés sur le flanc nord de la Nerthe.

Le Crétacé moyen (marin)

L'Albo-Aptien, principalement marneux, est connu sur la bordure nord de la Nerthe et dans la région de PLAN DE CAMPAGNE et de GIGNAC.

Le Crétacé inférieur (marin)

Le Barrémien de faciès urgonien[1] est constitué de calcaire blanc, récifal et affleure sur le flanc nord de la Nerthe et sur le flanc sud de l'anticlinal de la Fare.

Il a été également traversé par les sondages de reconnaissance de Gardanne Nord et Sud (Sondages HBCM) où cette formation est très fissurée et aquifère.

---

(1) *On emploiera souvent le terme de faciès Urgonien comme nom d'étage géologique.*

TROIS FAITS IMPORTANTS SONT A SIGNALER :

- les formations fluvio-lacustres peuvent être affectées d'importantes variations d'épaisseur et de faciès.

- les formations allant de l'Urgonien au Sénonien inférieur peuvent également présenter des variations d'épaisseur et de faciès; elles disparaissent par ailleurs, progressivement entre la chaîne de la Nerthe et la chaîne de La Fare.

- dans la région située au sud de MARIGNANE, le Bégudien est discordant sur l'Albien ou l'Aptien (le Valdo-Fuvélien est érodé dans ce secteur).

## 2.3. - *DONNEES TECTOGENETIQUES ET PALEOGEOGRAPHIQUES*

A la fin de l'Albien ou au début du Cénomanien une phase tectonique a mis en place une série de plis de direction Est-Ouest.

Sans tenir compte des mouvements tangentiels principaux (Maestrichtien et Bartonien) qui ont affecté sur une grande échelle la Provence on peut, compte tenu de la structure actuelle, distinguer avec J.P. MASSE, "un synclinal médian" qui englobe le domaine de la Nerthe et qui couvre la partie sud de l'Etang de Berre ; vers le Sud-Est le synclinal se rétrécit et est couvert par le chevauchement de l'Etoile. Ce synclinal est encadré au Nord par un anticlinal médian principal et au Sud par l'anticlinal sud-provençal.

Dans les unités synclinales les séries médio-crétacées sont complètes tandis que les marges synclinales sont faiblement érodées et les anticlinaux plus ou moins décapés. Le bassin d'Aix couvre dans sa partie orientale l'anticlinal médian principal, dans le secteur de l'Etang de Berre le synclinal médian et dans sa partie sud l'anticlinal sud-provençal.

C'est dans le synclinal médian que la série médio-crétacée (Cénomanien à Santonien) est conservée dans sa majeure partie".

L'étude des sondages profonds permet de confirmer et de préciser ces hypothèses.

L'écorché anté-cénomanien (voir annexe 5) permet de situer approximativement l'axe du synclinal qui a été comblé après le dépôt des calcaires du Barrémien par de l'Aptien marneux.

La carte en isopaques du Crétacé supérieur anté-Campanien (voir annexe 6) permet de préciser l'axe du bassin médio-crétacé.

Ces données sont très importantes car l'Aérospatiale de MARIGNANE se situe dans l'axe du synclinal médian et l'Urgonien sera de ce fait couvert par des séries marneuses.

## 2.4. - *DONNEES STRUCTURALES*

Nous rappelerons que malgré les nombreux sondages effectués dans le bassin de l'Arc (surtout concentrés dans le secteur de GARDANNE et au nord de l'Etang de Berre) les données sont encore très insuffisantes pour pouvoir établir un document cartographique précis. Les esquisses structurales, tracées à partir de points de contrôle (sondages et affleurements) répartis dans quelques secteurs à forte densité de sondage, sont très interprétatives et cela particulièrement dans la zone centrale du bassin et dans le secteur de l'Etang de Berre; elles permettent cependant d'établir une cohérence entre les données de sondage et la géologie de surface.

### 2.4.1. - Données de Géophusique

Pour le bassin de l'Etang de Berre nous disposions de quelques données de géophysique.

La gravimétrie (feuille d'AIX-en-PROVENCE au 1/80.000e) reflète surtout les différences de densité entre le bassin tertiaire et crétacé et les structures jurassiques enterrées; elle met également en évidence les failles importantes qui peuvent affecter le socle (faille de la Durance ou faille d'AIX par exemple). La carte d'interprétation du socle au 1/250.000e, réalisée par le B.R.G.M., met en évidence une discontinuité gravimétrique orientée NE - SW dont le tracé traverse la cité d'AIX-en-PROVENCE.

Les reconnaissances par sismique réflexion (effectuées par les compagnies de recherche pétrolière) concernent surtout les secteurs de la Crau et de l'Etang de Berre et se sont étendues jusqu'au sud d'AIX-en-PROVENCE et dans la région de CABRIES.

Ce que nous savons de ces travaux permet de supposer l'existence d'une disharmonie structurale entre les niveaux de base de l'Eocène et les niveaux plus profonds pouvant se situer à la base du Crétacé supérieur fluvio-lacustre.

Cette disharmonie n'est pas surprenante et peut être due, en particulier, aux variations d'épaisseur très importantes du Bégudien.

### 2.4.2. - Esquisses Structurales

L'Urgonien peut constituer l'objectif d'un sondage profond de recherche d'eau chaude à MARIGNANE; nous avons de ce fait tenté d'esquisser une carte en isobathes du toit de cet objectif.

Nous avons établi au préalable la carte structurale d'une couche de lignite dite "grande mine" reconnue par les travaux miniers dans le bassin de GARDANNE-TRETS et par des sondages de reconnaissance. Cette couche est isochrone et très étendue; elle se situe vers la base du Fuvélien.

Cette carte de base nous a paru nécessaire car elle est établie à partir d'un maximum de données. Cette carte ne figure pas dans ce rapport, mais a servi à établir la carte structurale du toit du Valdonnien (ou mur du Fuvélien) (voir annexe 7) en s'appuyant également sur les sondages ayant atteint la base du Fuvélien et sur la géologie de surface.

Cette carte situe la base du Fuvélien à l'Aérospatiale de MARIGNANE vers - 1200 NGF.

L'esquisse structurale du toit de l'Urgonien (voir annexe 8) est comparable à la précédente; elle situe l'axe du synclinal de l'Etang de Berre au sud de VITROLLES, approximativement à l'emplacement de l'Aérospatiale de MARIGNANE; le toit de l'objectif se situerait à environ 1700m de profondeur.

Les esquisses structurales traduisent la géométrie du bassin qui en fait est probablement plus complexe et compartimentée par des failles en profondeur; elles devront être actualisées au fur et à mesure de l'acquisition de données nouvelles.

### 2.4.3. - *Interprétation Structurale (voir annexes 7-8)*

Compte tenu des données structurales on peut constater que le bassin de l'Arc est scindé en deux parties qui pourraient être séparées par un "accident méridien" (ou flexure) d'orientation NNE-SSW.

Cet accident n'est pas très perceptible en surface mais sépare deux entités structurales très distinctes.

A l'Est de cet accident la structure de GARDANNE est bien individualisée et conforme à l'interprétation que l'on peut en effectuer à partir des données de surface; la structure se moule autour du demi-anticlinal du Regagnas et s'enfonce en pente douce vers le Nord; un axe synclinal très étroit se dessine approximativement à l'emplacement du plateau du Cengle. Le bord nord de ce synclinal se redresse brutalement à l'approche du massif de Sainte Victoire lequel chevauche vers le Sud la série fluvio-lacustre du Crétacé supérieur (dans le secteur de la Sainte Victoire le Jurassique supérieur est directement surmonté par les brèches daniennes ou paléocènes discordantes).

Au Sud-Est d'AIX-en-PROVENCE l'Eocène est rebroussé à la verticale par une faille qui met en contact le Lutétien avec le Thanétien.

Le bassin de GARDANNE se présente donc comme une déformation anticlinale, dont le coeur est constitué par le Jurassique du massif du Regagnas; le flanc nord de ce demi-anticlinal est relayé par un synclinal très étroit qui se redresse brutalement au contact du massif de la Sainte Victoire; l'axe du synclinal est sensiblement Est-Ouest au pied de la Sainte Victoire, s'incurve vers le sud-est et se poursuit jusque sous le chevauchement de l'Aurélien. Cl. ROUSSET pense que primitivement l'Aurélien et la Sainte Victoire pouvaient constituer un bombement unique et que les déformations ultérieures seraient post-Miocène.

La fermeture structurale de l'anticlinal est difficile à évaluer avec précision mais on peut l'estimer à environ 1500m au niveau de la base du Fuvélien (cotes structurales de + 300m à - 1200m environ).

Des sondages récents (BB.1, BB.2, SI.2 et GW.2) ont permis de préciser la cote structurale de la base du Fuvélien à l'ouest et au sud-ouest de GARDANNE; elle se situe respectivement à - 1165m - 1040m et - 1210m. Ces données mettent en évidence l'enfoncement progressif de la structure vers le Sud et vers l'Ouest et confirment l'individualité de la structure de GARDANNE centrée sur le massif du Regagnas.

A l'ouest de cet accident, la structure de l'Etang de Berre s'enfonce en pente douce (15° - 20°) du Nord vers le Sud (à l'inverse de la structure de Gardanne qui plonge en pente douce du Sud vers le Nord) à partir des affleurements du Fuvélien, qui entre La Fare et COUDOUX, bordent selon une direction sensiblement Est-Ouest la chaîne de la Fare. A l'Ouest, la base du Fuvélien a été recoupée par des sondages de recherches d'eau et à l'Est par les sondages de Moulin du Pont (MP.1)[1] et de Ventabren (VB.1)[2]; la base du Fuvélien se situe dans ces sondages aux cotes absolues - 318m et - 514m.

Plus au sud les données nous sont fournies par le sondage de Berre la Cigale[3] où la base du Fuvélien (faciès principalement argileux) se situe à la cote absolue - 554m; dans le sondage de ROGNAC[4] le Fuvélien n'a pas été atteint à 569m de profondeur; il n'est cependant pas exclu que ce sondage, qui a recoupé 501m de Bégudien, soit affecté par des failles (?).

Compte tenu d'un relèvement de la structure au contact de la Nerthe on peut supposer le tracé d'un axe synclinal centré sur la partie Sud de l'Etang de Berre, le secteur de MARIGNANE et le REALTOR; la hauteur de la fermeture est également très importante et probablement supérieure au millier de mètres.

Au nord de CHATEAUNEUF-les-MARTIGUES un sondage a révélé que le Bégudien était discordant sur le Cénomanien; dans le tunnel de la Nerthe le Bégudien repose sur l'Aptien.

En limite occidentale et méridionale du synclinal le Fuvélien se biseaute et nous ne pouvons prendre en compte comme niveau de référence que la cote du niveau discordant du Bégudien sur le Valdonnien ou le Santonien supérieur.

---

(1) Référence : 1020.4.74
(2) " : 1020.4.75
(3) " : 1020.2.92
(4) " : 1020.3.40

# COUPE GEOLOGIQUE DE PLAN DE CAMPAGNE VERS CALAS

## COUPE E-E'

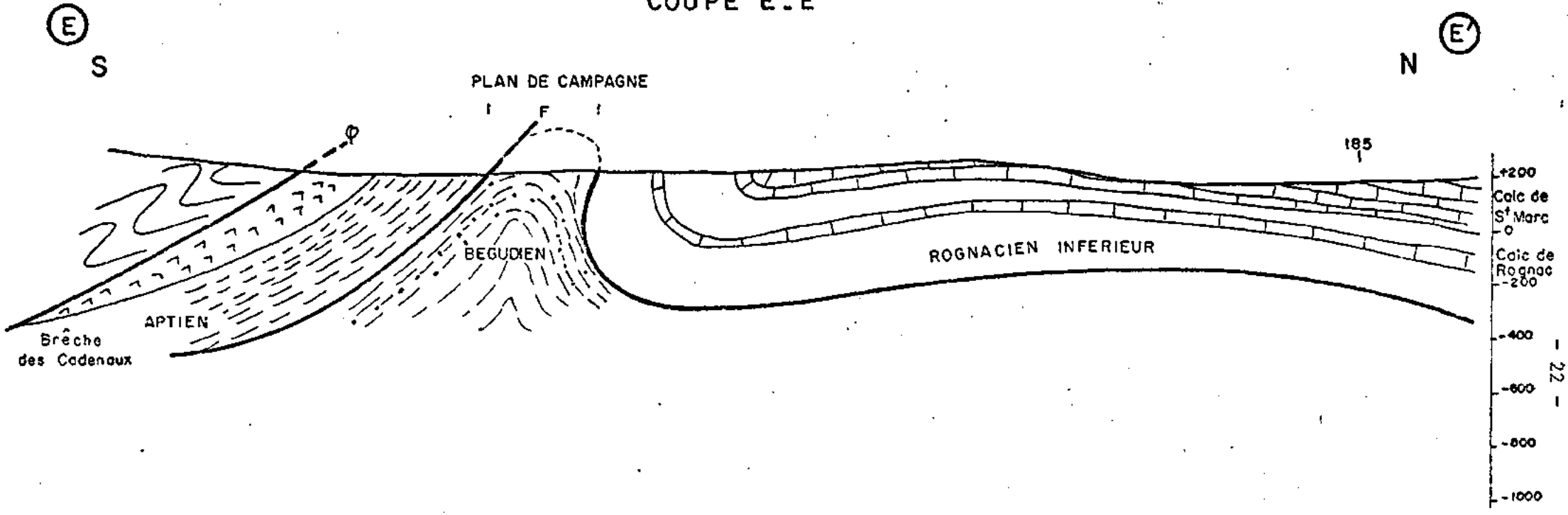





Fig. : 3

78 SGN 321 PRC

Aux abords de "l'accident méridien" nous n'avons aucune information structurale en ce qui concerne la base du Fuvélien; il est probable que cette zone charnière est très complexe et a joué un rôle au Stampien et participé à l'effondrement du fossé des MILLES, créant ainsi un compartiment affaissé et à rejet vertical.

Le rejet de l'accident méridien ne semble pas être important; cet accident correspondrait plutôt à un décrochement qu'à une faille.

Si l'on admet que le Jurassique de la région d'AIX est autochtone il faut également admettre un relèvement brutal de toutes les séries du Sud vers le Nord par un jeu de failles de direction Est-Ouest; il est cependant probable que le Fuvélien se biseaute rapidement en direction du substratum jurassique et néocomien si celui-ci constituait un haut fond lors de la sédimentation des séries fluvio-lacustres.

### *2.4.4. - Conclusion*

Au niveau de la base du Fuvélien le secteur de GARDANNE-TRETS correspond à un large flanc anticlinal centré sur le Jurassique du massif de Regagnas au Sud, et à un synclinal aigu au Nord redressé au contact du massif de la Sainte Victoire.

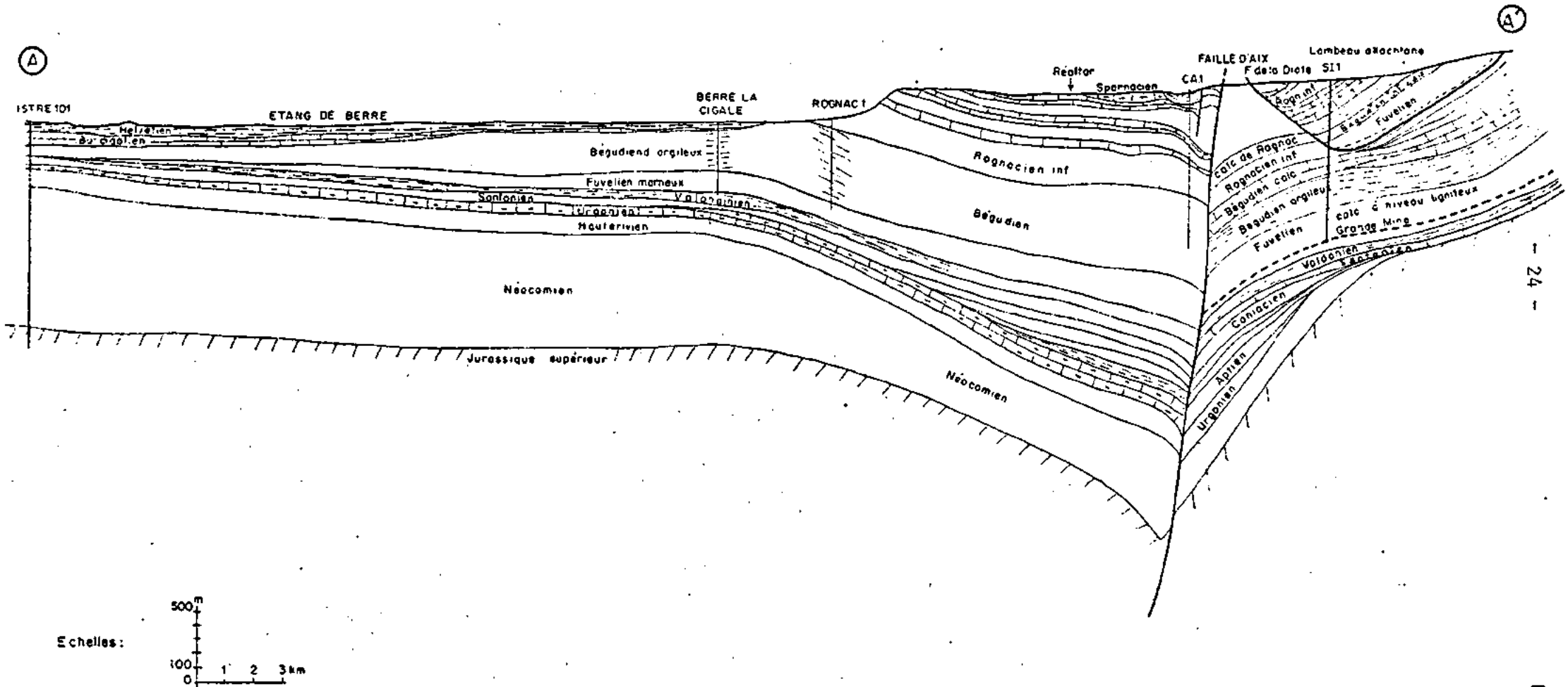
Le secteur de l'Etang de Berre est, à l'inverse du précédent, centré sur l'Urgonien de La Fare au Nord et redressé au contact de la Nerthe et de l'Etoile au Sud.

Il existe donc une disharmonie structurale entre la base de l'Eocène et le mur du Fuvélien dûe à la tectonique et à la subsidence différentielle du Bégudien.

BRGM 1325 PRC

# COUPE GEOLOGIQUE D'ISTRES VERS LE REGAGNAS

## COUPE A.A'




Echelles:






Fig.: 4

L'"accident méridien", qui sépare donc deux unités structurales distinctes, ne se reflète pas en surface car il se trouve en une zone charnière dans laquelle les rejets de l'accident sont compensés. Tout au plus peut on constater qu'à l'Ouest de cet "accident" se développe une épaisse série oligocène.

Il subsiste cependant encore de nombreuses incertitudes pour pouvoir préciser la structure profonde du bassin de l'Arc, en particulier dans la zone de jonction du bassin de GARDANNE et de celui de l'Etang de Berre.

Malgré les présomptions (alignement observé par satellite ERST 1, données géophysiques,, schémas structuraux divers ...) l'on ne peut raccorder avec certitude l'"accident méridien" avec la faille des Pinchinnats connue au nord de la cité d'AIX-en-PROVENCE et dont le rejet est d'environ 500 mètres. Cette faille, dite aussi d'AIX, correspond à un accident majeur profond et probablement en relation avec le socle; elle se raccorde vers le Nord avec la faille de la Durance et si elle se raccorde effectivement vers le Sud avec l'accident méridien son rejet s'amortit progressivement vers la surface.

Cette analyse est importante car elle contribue à une meilleure interprétation du site géologique à l'emplacement de l'Etablissement de Marignane par rapport à son contexte structural.

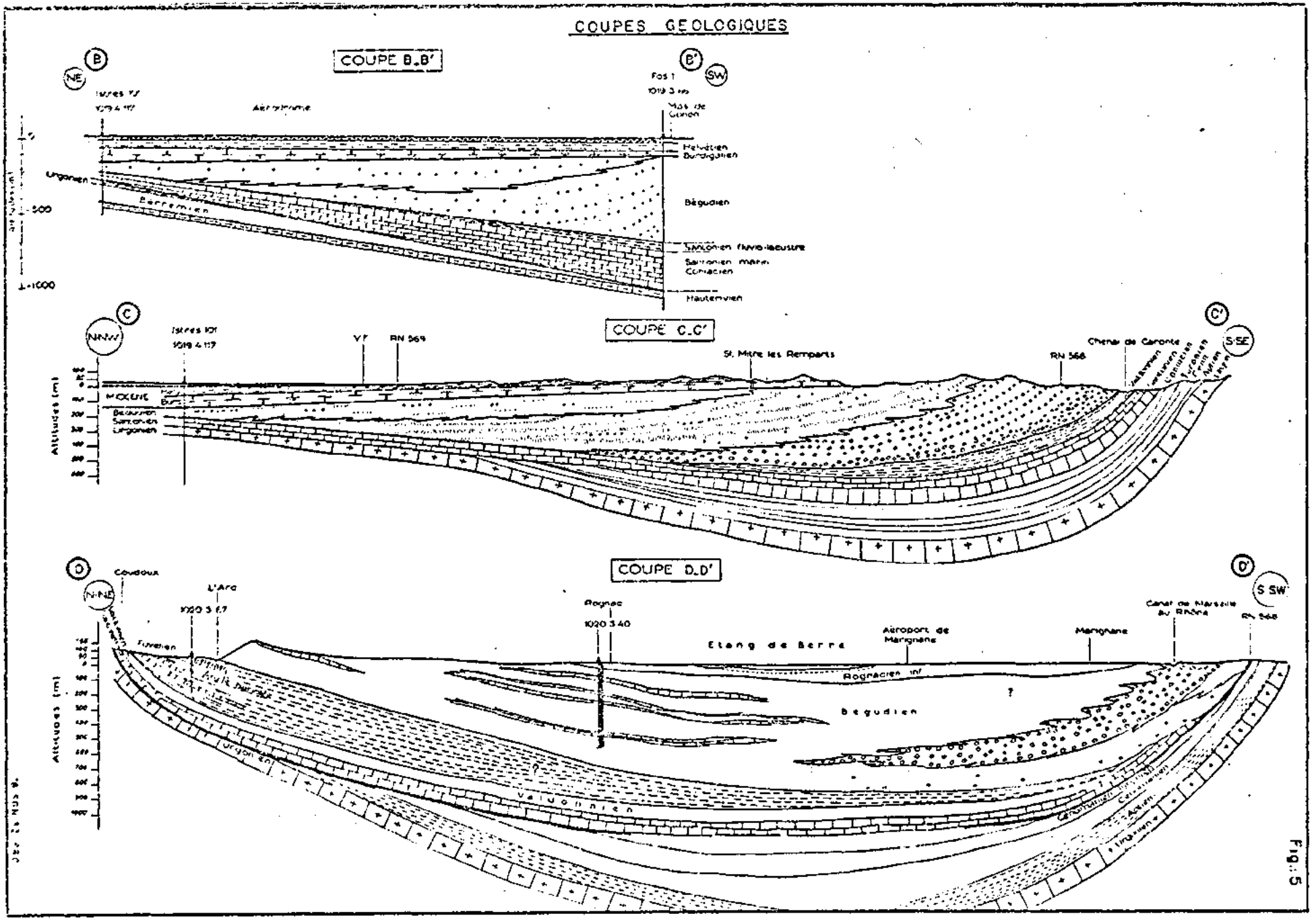
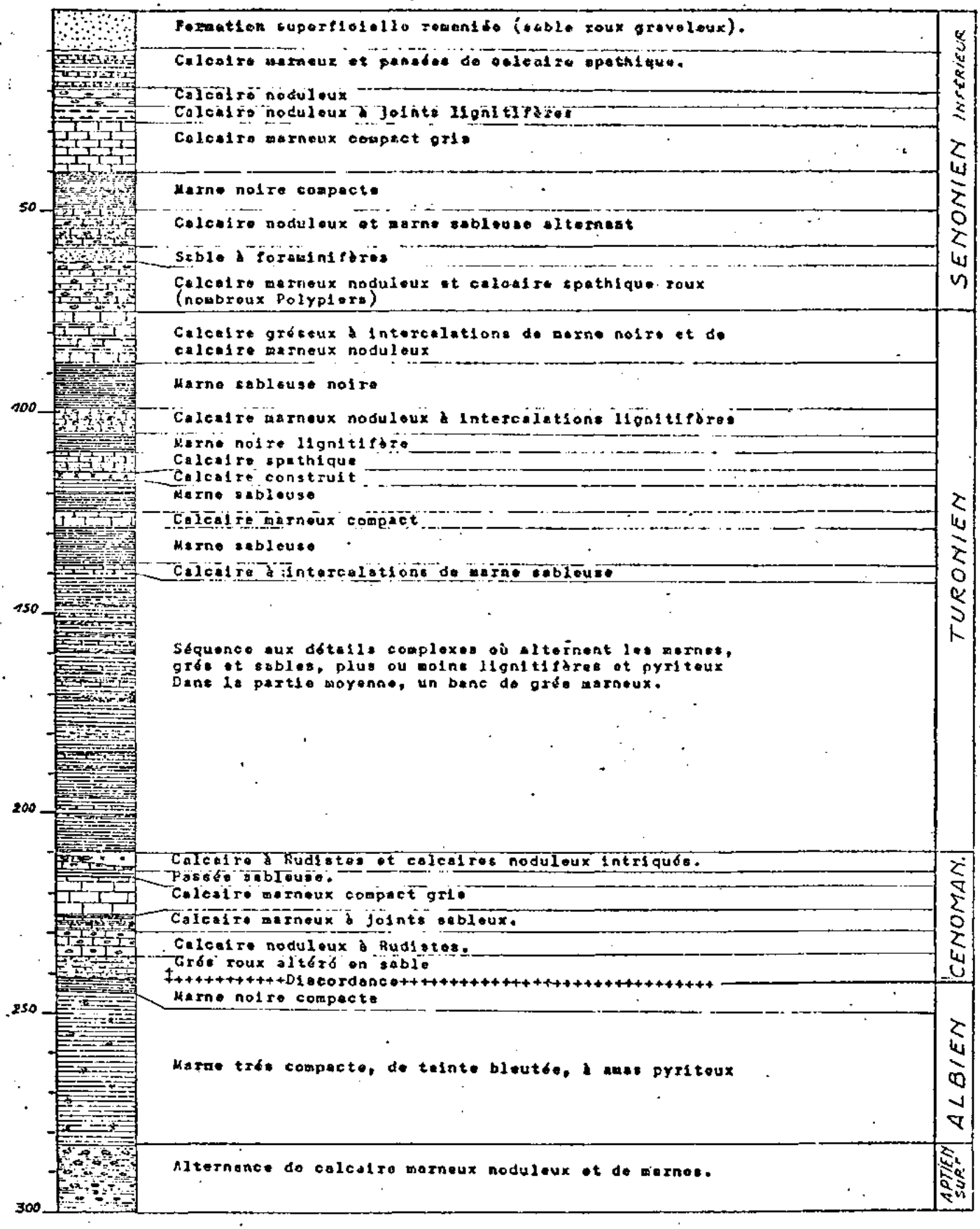

COUPES GEOLOGIQUES
COUPE B-B'
B
B'
NE
SW
Fos 1
1019 3 mN
Aéroport
Pliocène
Burdigalien
Urgonien
Barrémien
Bégudien
Sénonien fluvio-lacustre
Sénonien marin
Coniacien
Hauterivien
-500
-1000
COUPE C-C'
C
C'
NNW
SSE
Istres 101
1019 4 117
VF
RN 569
St. Mitre les Remparts
RN 568
Chenal de Caronte
Altitudes (m)
Pliocène
Burd.
Bégudien
Sénonien
Urgonien
COUPE D-D'
D
D'
N-NE
S SW
Coudoux
L'Arc
1020 3 67
Poignac
1020 3 40
Etang de Berre
Aéroport de Marignane
Marignane
Canal de Marseille au Rhône
RN 568
Fuvélien
Rognacien inf.
Bégudien
Valdonien
Urgonien
Altitudes (m)

Fig.: 5

Fig. : 6




COUPE SIMPLIFIÉE DU FORAGE EXECUTÉ EN 1959 PRÈS DE LA MEDE AU LIEU-DIT "LE PATI". (Schéma C. GUIEU)

# 3

# ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

## 3.1. - CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DES FORMATIONS

### - Les formations fluvio-lacustres

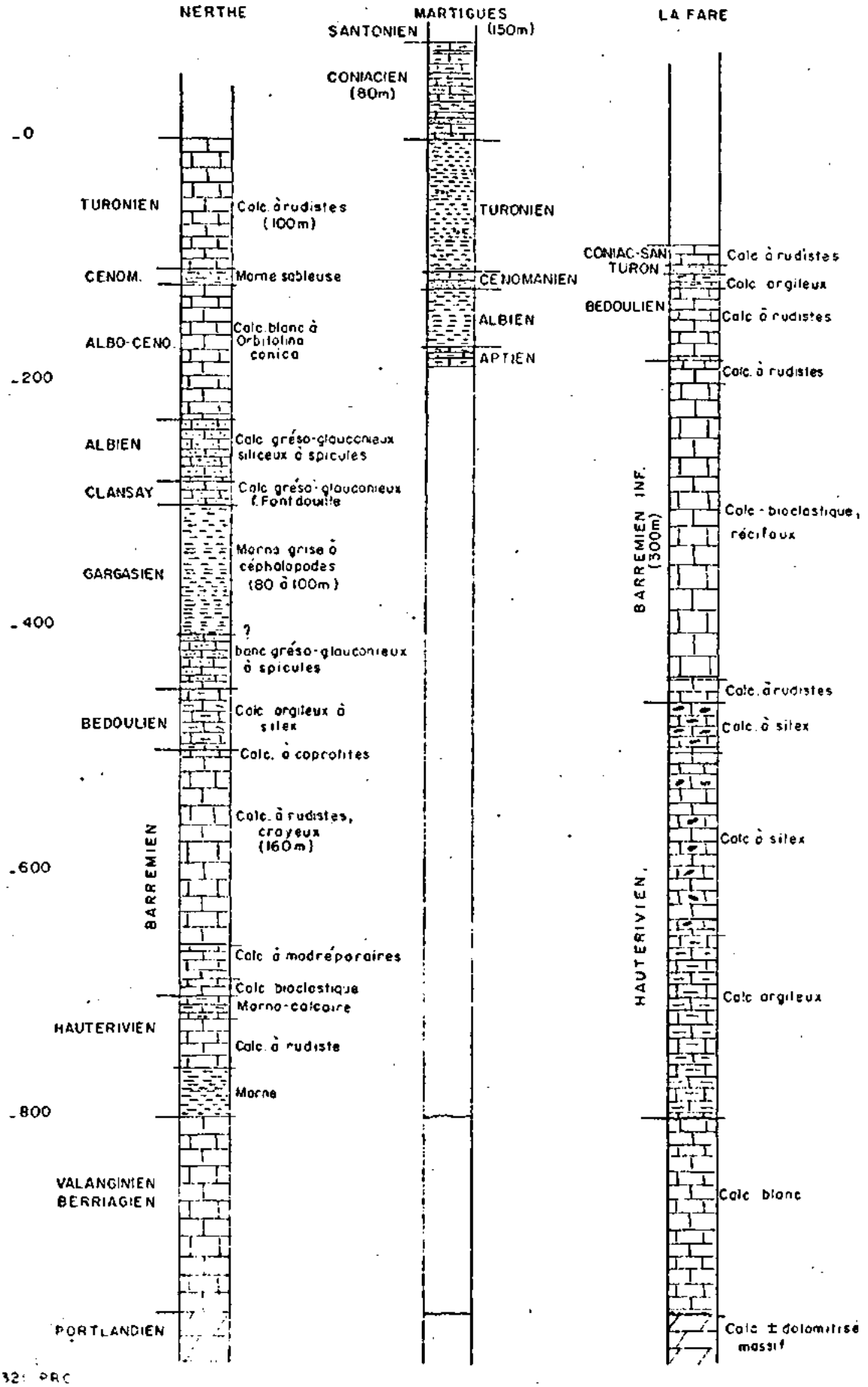
Ces formations sont essentiellement marneuses et argileuses et sont donc très peu perméables ; le Fuvélien peut cependant comporter des intercalations de calcaires marneux ou des calcaires, généralement compactes, mais pouvant être fissurés.

### - Le Crétacé supérieur (Santonien à Cénomanien)

Le Sénonien inférieur (Santonien-Coniacien) est généralement constitué de calcaires compacts, peu poreux et peu perméables mais pouvant être fissurés; le Turonien et le Cénomanien sont constitués d'une alternance de calcaires, de marnes et de grès qui peuvent présenter une bonne perméabilité; les niveaux grèseux sont cependant trop peu épais pour pouvoir constituer un réservoir aquifère important.

Fig. 7

# LITHOSTRATIGRAPHIE DU CRETACE MARIN DE LA NERTHE A LA FARE



Le Sénonien inférieur du sondage de FOS 1 (1019.3.66) a fait l'objet de 3 tests qui ont montré que les calcaires de cette formation étaient fissurés et que ce réservoir présentait de très bonnes caractéristiques (forte perméabilité de fissuration) mais sans porosité, ni perméabilité matricielle. Les tests ont indiqué une forte productivité qui a provoqué rapidement un afflux important de déblais et de matériaux bouchant les crépines des testers au bout de quelques minutes; le troisième test a donné en particulier 800 litres de boue pendant les deux premières minutes d'ouverture et un total de 2400 litres en 50 minutes.

Le fluide recueilli n'était pas représentatif de la formation par suite des pertes importantes de boue; la pression statique a été évaluée à environ 95 kg/cm2 à 940,50m. La salinité de l'eau serait voisine de 25gr/l.

Dans le secteur de LAVERA, des cavités ont été creusées sous le niveau hydrostatique dans le Sénonien inférieur pour le stockage souterrain de gaz, sans venues d'eau importantes.

- *L'Albo-Aptien*

Cette formation est essentiellement marneuse et imperméable.

- *Le Barrémien*

Le Barrémien est connu aux affleurements (La Fare et la Nerthe) et a été recoupé à l'Ouest par le sondage d'ISTRES 101 (1019.4.117) sur une épaisseur de 145m (294,75m à 440m); il est couvert directement par le Santonien. Dans ce sondage la partie supérieure de la formation se présente sous le faciès récifal Urgonien (16m de calcaire grossier, très détritique, blanc à rosé); la plus grande partie du Barrémien est constituée de calcaire détritique graveleux présentant probablement une bonne perméabilité matricielle; il faut souligner que dans ce sondage le sommet de Barrémien se trouvait érodé.

Lors de la foration du Barrémien aucune perte de boue n'a été signalée et aucun test de formation n'a été effectué au niveau du Barrémien.

Dans le sondage FOS 1 (1019.3.66) le Sénonien inférieur repose directement sur l'Hauterivien; l'ensemble du Barrémien a été érodé.

On constate donc qu'à l'Ouest de l'Etang de Berre le Barrémien s'est trouvé émergé pendant une période assez longue et a été, partiellement (ISTRES 101) ou totalement (FOS 1), érodé. L'état de karstification de l'Urgonien n'a cependant pu être observé dans le sondage ISTRES 101 (absence de carotte et de test).

Dans l'axe du synclinal médian l'Urgonien n'est probablement pas karstifié et la perméabilité en grand, due à la fracturation risque d'être réduite. Dans l'hypothèse d'un drainage peu prononcé vers un éventuel niveau de base, le karst sera probablement peu développé, obstrué et fossilisé.

A l'Est de GARDANNE, les sondages de GARDANNE NORD (1021.2.12.) et GARDANNE Sud (1021.6.3) ont recoupé l'Urgonien respectivement entre 742,6 - 773,30 et 613 - 623m de profondeur; dans les deux sondages, l'Urgonien est recouvert directement par le Santonien et se trouve être très fissuré (fissures à remplissage de calcite sur les 10 premiers mètres puis fissures ouvertes) entrainant des pertes totales de boue lors de la foration.

Dans les deux sondages l'Urgonien a été carotté en continu :

A GARDANNE Nord l'Urgonien est constitué de calcaires sublithographiques blancs ou beige rosé et, à GARDANNE Sud de calcaires gris beiges ; l'Hauterivien sous-jacent est également fissuré.

Dans les deux sondages des tests ont été effectués au niveau de l'Urgonien qui ont permis de constater des venues d'eau subartésiennes; à GARDANNE Nord le niveau hydrostatique s'équilibre à + 191m NGF et à GARDANNE Sud à + 174m NGF; à GARDANNE Nord le volume débité lors du test a été de 2400 l en 54mn d'ouverture et à GARDANNE Sud de 1800 l en 18mn.

Ces sondages ont permis d'établir que l'Urgonien etait karstifié fissuré et aquifère.

## 3.2. - OBJECTIFS POSSIBLES

Compte tenu de nos connaissances géologiques régionales l'Urgonien constitue le seul objectif d'un sondage de recherche d'un réservoir aquifère profond.

Le Sénonien inférieur calcaire peut constituer un objectif secondaire s'il est fissuré.

Le Jurassique supérieur, constitué d'une épaisse série de calcaires pouvant être dolomitisés et fissurés, peut constituer un objectif mais qui serait très profond ( ≈ 3000m ?).

## 3.3. - HYDROGEOLOGIE DE L'URGONIEN

Les seules données concernant l'hydrogéologie profonde de l'Urgonien nous sont fournies par les sondages de GARDANNE Nord et Sud situés très à l'Est de MARIGNANE.

L'alimentation des réservoirs souterrains s'effectue, dans la partie orientale du bassin, à partir du Jurassique et du Nord ou Nord Est vers le Sud ou Sud Ouest; les circulations sont drainées par le Jurassique ou l'Urgonien ou encore par le Fuvélien.

Au Nord, la chaîne de La Fare est drainée vers la source de CALISSANE qui débite 0,6 à 1m3/s d'eau salée (6oomg/1 NaCl) à une température de 18°6 C ; cette source saline, ne peut s'expliquer que par un contact des eaux profondes avec du Trias pouvant être pincé dans un accident (?).

Plus au Sud dans le tunnel maritime du Rove des venues d'eau très importantes (330 l/s) se sont manifestées à peu de distance du littoral ; l'eau était également légèrement salée et à une température élevée (30°c ?).

A l'Ouest du Rouet, sur le littoral, une calanque est dénommée "sources salées" ; des émergences - de faible débit et non pérennes - existent au contact Oligocène-Crétacé inférieur. On se trouve ici sur une zone de contacts anormaux, séparant le chevauchement méridional de la zone des écailles para-autochtones de la Nerthe ; l'origine de la salure peut être recherchée dans le Trias qui peut être présent dans un des plans de chevauchement.

Toutes ces données nous indiquent que la tectonique profonde sous l'Etang de Berre et à MARIGNANE, est probablement très complexe et que des contacts anormaux peuvent constituer des écrans compartimentant les systèmes hydrauliques ou encore favoriser des circulations selon les directions des fractures et mettre ainsi en communication des systèmes aquifères différents et plus ou moins profonds.

A l'extrêmité occidentale de la Nerthe, des sources sulfureuses sont connues le long du littoral : source de l'anse d'Auguette, anse de Lauzon, anse d'Arnette, anse du Verdon ; les émergences thermales sulfureuses d'Arnette ont été étudiées par Cl. FROJET ; ces eaux sont "responsables de dépôts gréseux et pyriteux dans les anfractuosités de la cote et de dépôts sous-marins de soufre " ; l'auteur fait intervenir la circulation des eaux sur les marnes aptiennes, très riches en nodules de pyrite, et l'élévation de température par des réactions chimiques exothermiques.

La chaîne de la Nerthe ne comporte pas d'exutoire visible étant donné le contact direct avec la mer et semble être drainée, pour une grande partie, par le tunnel maritime du Rove.

En ce qui concerne l'anticlinal de la Fare le flanc sud (Urgonien) est normal, tandis que le flanc nord (Hauterivien) est écaillé et chevauchant.

On a vu qu'un seul exutoire existait sur le flanc sud : la source de Calissane ; avec une teneur élevée en ClNa ( > 600 mg/l) laissant supposer que les eaux ont circulé au contact du Trias gypso-salin. Treize kilomètres à l'E-N-E le sondage pétrolier d'Eguilles a montré le chevauchement de deux séries calcaires crétacées l'une sur l'autre; du Trias peut effectivement être pincé dans le plan de chevauchement. La température (18,6°) de la source de Calissane est supérieure à la normale (13°5).

A 4 et 5 kilomètres au Sud Ouest, les deux émergences de Moyroux et Billiard, situées dans le Santonien ont une composition chimique et des températures identiques, mais des débits très faibles.

Il faut noter qu'à 800 mètres au Nord de La Calissane (Jas d'Alisson) un forage particulier a rencontré un niveau hydrostatique dans les calcaires urgoniens à une cote voisine de celle de la source mais avec une teneur en $Cl^-$ plus faible (35,5 mg/l).

Le long de la Touloubre, entre Cornillon et Le Gueby (Saint Chamas) d'assez nombreux forages particuliers ont été exécutés. Les débits dans l'Hauterivien sont toujours assez faibles.

A Saint Chamas, en rive droite de la Touloubre, l'Urgonien affleure encore au lieu dit "le Polygone". En ce point existe une source (cote + 0,25 T° 17° Th 42° $\rho$ 197,6 $\Omega$/m) dont le débit est assez important (une dizaine de litres/s en Juillet 1963) mais la teneur en chlorures est assez élevée (2,4 g/l).

Plus au Nord de Saint Chamas au lieu dit "Le Gueby" un forage particulier (maison du peintre Seyssaud) a atteint l'Urgonien(calcarénite à microforaminifères) et y a rencontré l'eau (à une cote qui serait légèrement négative) T° 15° $\rho$ 235Ω /m Th 39°. En face du Polygone une arrivée d'eau douce ("lauron") est connue en mer, ainsi qu'une autre plus au Nord au lieu dit "La Digue" (1).

Ainsi il semble bien que l'Urgonien du flanc sud de l'anticlinal de la Fare soit drainé par l'Etang de Berre dans la région de Saint Chamas. Les circulations se feraient dans l'Urgonien où la karstification a pu se développer dans les deux premières périodes d'émersion et notamment avant la transgression miocène; la fissuration serait beaucoup moins développée dans l'Hauterivien.

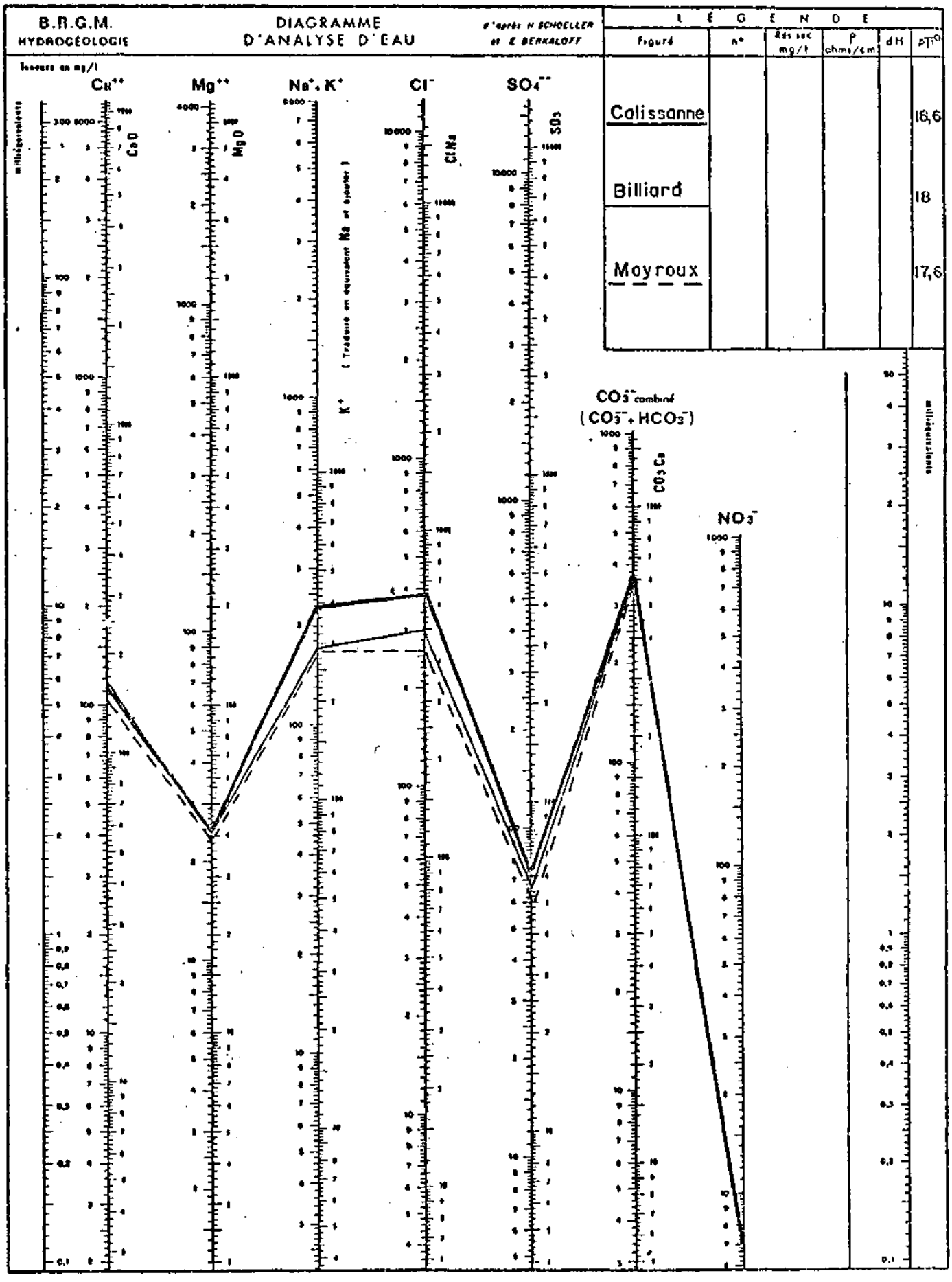
Dans les fouilles effectuées pour la construction de l'Usine hydroélectrique de Saint Chamas, en bordure de l'Etang de Berre, ont été rencontrées des venues d'eau dans les calcaires urgoniens, sous les grès turoniens. La teneur en chlorures était de l'ordre de 10g/l. On a pompé 70l/s au maximum; une communication de l'Urgonien avec l'Etang de Berre est très probable.

CHIMIE DES EAUX

Des analyses chimiques des sources de Calissane, Moyroux et Billiard ont été réalisées, et elles ont été reportées sur un diagramme logarithmique (voir figure 8).

(1) Plus au Nord, immédiatement au Sud du Pont de Saint Chamas, existent deux autres petites sources : la Sourcette et la Source du Gourd (cotes 0,47 et 0,11) que, d'après leurs caractéristiques, on peut supposer alimentées par l'Urgonien (T° 16,5° et 16° CI 408,25 et 2 414 mgl Th 31° et 42°)

Fig.: 8


B.R.G.M.
HYDROGÉOLOGIE
DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU
d'après H SCHOELLER
et E BERKALOFF
LÉGENDE
Figuré
n°
Rés sec mg/l
ρ ohms/cm
dH
pT°
Calissanne
18,6
Billiard
18
Moyroux
17,6
Teneurs en mg/l
Ca++
Mg++
Na+ + K+
Cl-
SO4--
CO3- combiné
(CO3- + HCO3-)
NO3-
milliéquivalents
Ca O
Mg O
Cl Na
SO3
CO3 Ca
( Traduire en équivalent Na et égaler )
K+

Laboratoire B.R.G.M. Orléans 11 Avril 1972

| Numéro échantillon | Ca (mg/l) ppm | Mg (mg/l) ppm | Na (mg/l) ppm | K (mg/l) ppm | Cl (mg/l) ppm | $SO_4^-$ (mg/l) ppm | $NO_3^-$ (mg/l) ppm | $HCO_3^-$ (mg/l) ppm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Source Moyroux | 109,2 | 24,9 | 157 | 6,0 | 257 | 60 | 6,6 | 359,05 |
| Source de Calissane | 117,2 | 27,6 | 221 | 6,7 | 390 | 71 | 7,8 | 350,75 |
| Source Billiard | 119,6 | 25,7 | 172 | 6,4 | 283 | 58 | 8,4 | 351,25 |

RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

# 4

# ETUDE GEOTHERMIQUE

Les données de température dont nous disposons sont très peu nombreuses et dispersées; elles ne sont pas très significatives.

## - DONNEES DE SURFACE -

L'eau de la source de Calissane a une température plus élevée que la normale (18°6c) et sa composition chimique suggère qu'elle est probablement en relation avec des eaux circulant au contact avec du Trias pincé dans un accident en profondeur; comme elle est probablement alimentée par des circulations venant du Nord ou du Nord Est cette température, plus élevée que la moyenne, n'a probablement aucune relation avec les aquifères se situant plus au Sud.

Les venues d'eaux chaudes (30°c ?) dans le tunnel du Rove s'expliquent mal sinon par des communications avec des circulations plus profondes.

La température de l'eau du Puits de l'Arc (1021.7.88) issue du Fuvélien inférieur (vers 400m de profondeur) est de 18°c donc nullement anormalement chaude.

On peut enfin citer pour mémoire les sources thermales d'AIX-en-PROVENCE (33° C à l'émergence) issues, à travers une couverture miocène, d'un magasin calcaire dolomitique jurassique.

- DONNEES DE SONDAGES -

Dans le secteur de GARDANNE plusieurs sondages profonds ont été réalisés récemment et une thermométrie continue a été enregistrée en fin de trou; les résultats ont été les suivants :

BB.2 (1021.5.154) : 30° à 1250m
SI.2 (1021.5.154) : 33° à 1330m
GW.2 (1021.1.359) : 31,5° à 1300m
BB.1 (1021.5.152) : 36° à 1300m
GW.1 (1021.5.149) : 37° à 1070m
BB.3 (1021.5.156) : 27° à 1100m

Vu la courte attente de stabilisation thermique de la boue de forage avant mesure (24 heures en moyenne) ces valeurs ne sont pas significatives et un écart par défaut d'environ 10°c peut-être envisagé par rapport aux résultats qui pourraient être obtenus par des tests de production.

Les températures de fond des sondages GARDANNE Nord et Sud ont pu être mesurés lors de tests effectués par DOWEL SCHLUMBERGER:

GARDANNE Nord (1021.2.12) : 31°6c à 740m
GARDANNE Sud (1021.6.3 ) : 37°7c à 620m

Le sondage Jas de Rhodes (1020.7.48) effectué dans la Nerthe a fourni une température (BHT) de 42°c à 994m de profondeur.

Le sondage FOS 1 (1019.3.66) a fourni une température (BHT) de 25° à 170m.

Dans le sondage ISTRES 101 (1019.4.117) les températures mesurées (BHT) à 2505m ont été de 49°c et à 4238m 96°c.

Dans le sondage d'Eguilles (994.8.6.) la température (BHT) à 2492m a été de 76°c.

Les données n'apportent aucune précision concernant les gradients géothermiques de la région; tout au plus peut on considérer que dans le secteur de GARDANNE, le gradient est relativement faible; cette anomalie peut être due au lessivage des formations par des circulations d'eaux rapides en provenance du Nord ou de l'Est.

Il est difficile dans ces conditions d'évaluer la température de l'eau d'un aquifère profond à MARIGNANE; si le gradient géothermique était moyen (3°/100m) et compte tenu de la température moyenne de surface on peut émettre l'hypothèse que la température de l'eau d'un réservoir se situant à 1500m de profondeur serait de l'ordre de 57°c; cette valeur ne constitue qu'un ordre de grandeur qui pourrait être majoré dans le cas d'un aquifère urgonien alimenté par des venues profondes à la faveur de failles ou minoré s'il existait des communications latérales entre cet aquifère et des aquifères moins profonds.

# 5

# FAISABILITE DU PROJET

Compte tenu de la synthèse effectuée, une recherche d'eau chaude (50-60°c) dans les limites de l'Etablissement de l'Aérospatiale de MARIGNANE peut être envisagée mais beaucoup d'incertitudes demeurent en particulier en ce qui concerne les caractéristiques hydrauliques du réservoir aquifère de l'Urgonien qui peut constituer un objectif,et surtout en ce qui concerne le gradient géothermique régional.

Le Barrémien (faciès Urgonien) peut constituer un objectif qui se situera entre 1500 et 2000 mètres de profondeur. Il est très probable que le Barrémien est recouvert à MARGNANE par la série imperméable de l'Aptien et par des formations du Crétacé moyen et supérieur marin ; l'Urgonien n'a probablement pas été émergé et n'a donc pas été karstifié dans le secteur de MARIGNANE, ainsi qu'il le fut plus à l'Est (GARdanne nord et sud) et à l'Ouest (ISTRES ainsi que FOS où il a été érodé dans sa totalité). On ne peut être assuré que le Barrémien présentera une importante fissuration à MARIGNANE ; l'eau de l'aquifère aura par ailleurs, très probablement, une salinité élevée.

On ne peut donc garantir avec certitude le succès de l'opération et le risque d'échec (débit inférieur à 150 m3/h et température de l'eau inférieure à 50°C) peut être évalué à environ 50% ; le risque de trouver un réservoir urgonien à faible perméabilité nous semble être important.

6

# UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES POUR LE CHAUFFAGE DES LOCAUX

La Société Nationale Industrielle Aérospatiale à MARIGNANE a consommé en 1977, 109.890 Mwh, toutes énergies comprises. La part correspondant au chauffage seul est de 82.840 Mwh ; si l'on estime à 10 % du chauffage la quantité consommée pour des besoins industriels, la consommation pour le chauffage des bureaux et des ateliers est de 74.560 Mwh.

Le chauffage des bureaux est assuré par des radiateurs (65°/45° par - 5° C de température extérieure) alimentés depuis des sous-stations raccordées au réseau eau surchauffée (180° C maxi) (Fig.9) L'eau surchauffée est produite par 5 chaudières au fuel lourd d'une puissance unitaire de 10 T/hr.

Le chauffage des ateliers est assuré :

- par des panneaux radiants raccordés directement au réseau eau surchauffée ;

- par des aérothermes, à fort renouvellement d'air, ventilant de l'air réchauffé à 35°, et fonctionnant en partie au " make up gaz " (alimentés directement par le fluide de combustion de chaufferie au gaz) ; d'autres sont raccordés au réseau eau surchauffée.

## 6.1. - ADAPTATION DU CHAUFFAGE A LA GEOTHERMIE

### 6.1.1. - Chauffage des bureaux

Si les températures de régulation estimée pour les radiateurs (65°/45° par - 5° extérieur) se trouvent confirmées, les installations actuelles peuvent être conservées. Cependant, l'eau géothermale devrait alors alimenter le primaire d'échangeurs situés en sous stations et dont le secondaire réchaufferait l'eau de retour du circuit radiateurs. Eventuellement, pendant les périodes les plus froides, le réseau eau surchauffée fournirait l'appoint par l'intermédiaire d'un échangeur selon le schéma de la(fig.10 ). Le primaire et le secondaire de l'échangeur alimenté par le réseau eau surchauffée seraient ou non alimentés, en fonction de la nécessité d'un appoint.

Une autre solution consisterait en une production centralisée avec un seul réseau, modulé en température en fonction de la température extérieure. Le réseau géothermal se limiterait alors à des canalisations entre les puits et la chaufferie et un échangeur central.

Cela impliquerait alors de toute façon la création d'un réseau basse pression en remplacement du réseau eau surchauffée.

### 6.1.2. - Chauffage des ateliers

+ Panneaux radiants

La géothermie ne peut être d'aucune utilité pour l'alimentation des panneaux radiants. Ils pourraient être conservés dans un premier temps et progressivement remplacés par des aérothermes.

- Aérothermes

Le principe même de l'aérotherme (réchauffage de l'air recyclé + réchauffage de l'air extérieur introduit dans les locaux) permet une utilisation de la géothermie d'autant meilleure que le renouvellement de l'air est important, ce qui est le cas.

Cependant, l'utilisation des aérothermes actuels, alimentés par un fluide à une température supérieure à 100° C, se prête mal à une application géothermique.

Il faudra envisager l'installation au niveau de chaque atelier d'une production centralisée d'air à 35° C, redistribuant l'air chaud par des gaines à différents points de l'atelier. Une production centralisée permettant d'obtenir des rendements (au niveau des échanges eau/air dans les batteries) supérieurs à ceux obtenus par de petites productions ponctuelles (plusieurs aérothermes dans le même atelier, cas actuel).

Fig. 9

# SITUATION ACTUELLE

RADIATEURS

## ( Sous Station Type)

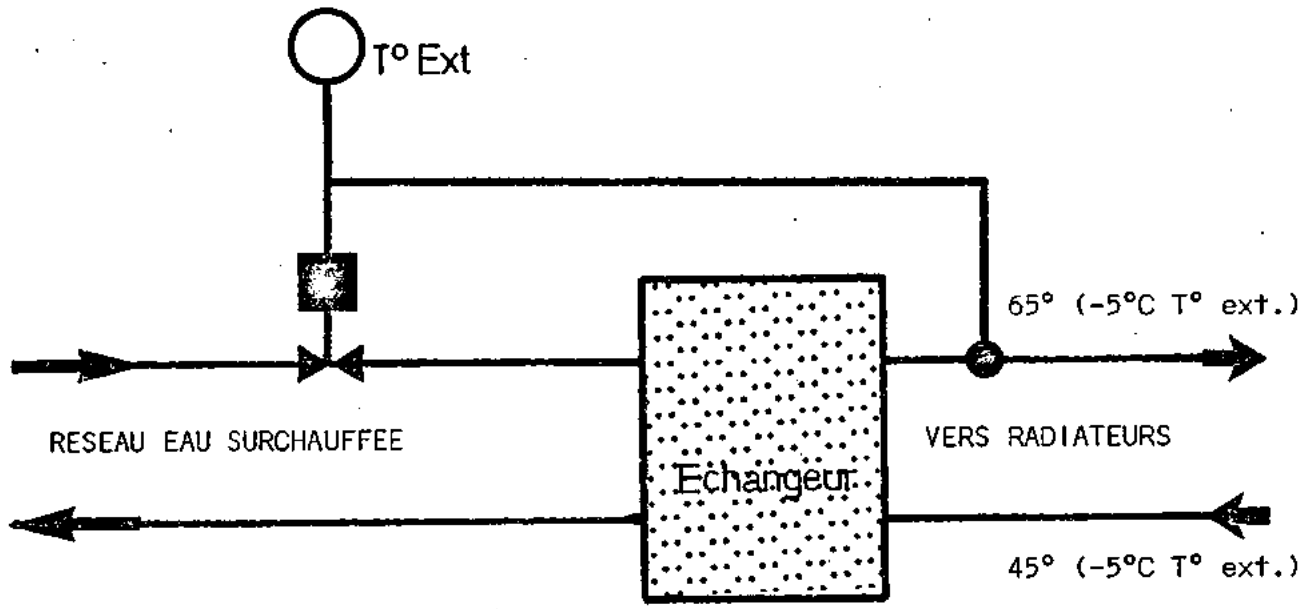
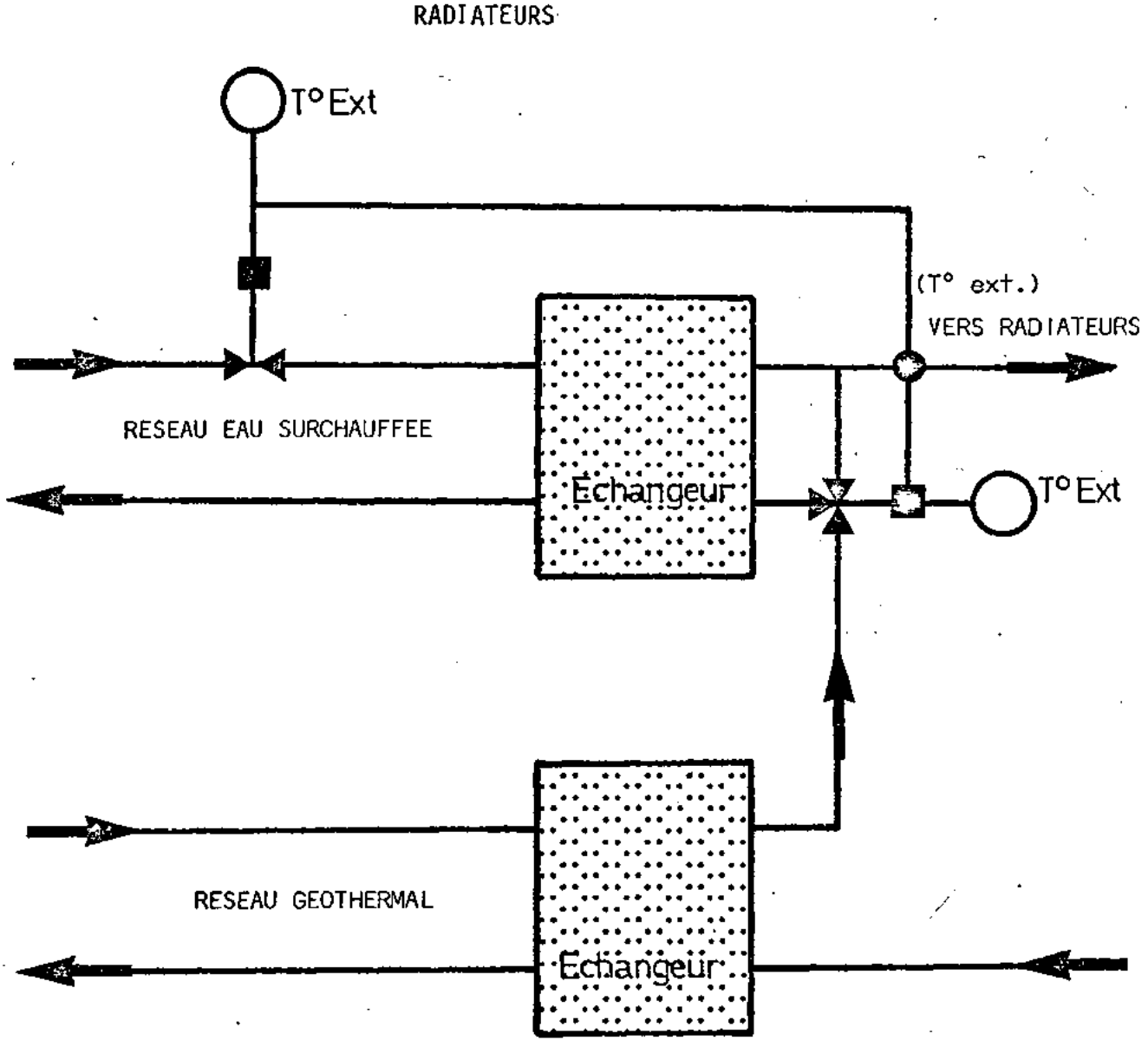


Fig. 10

# ADAPTATION GEOTHERMIE

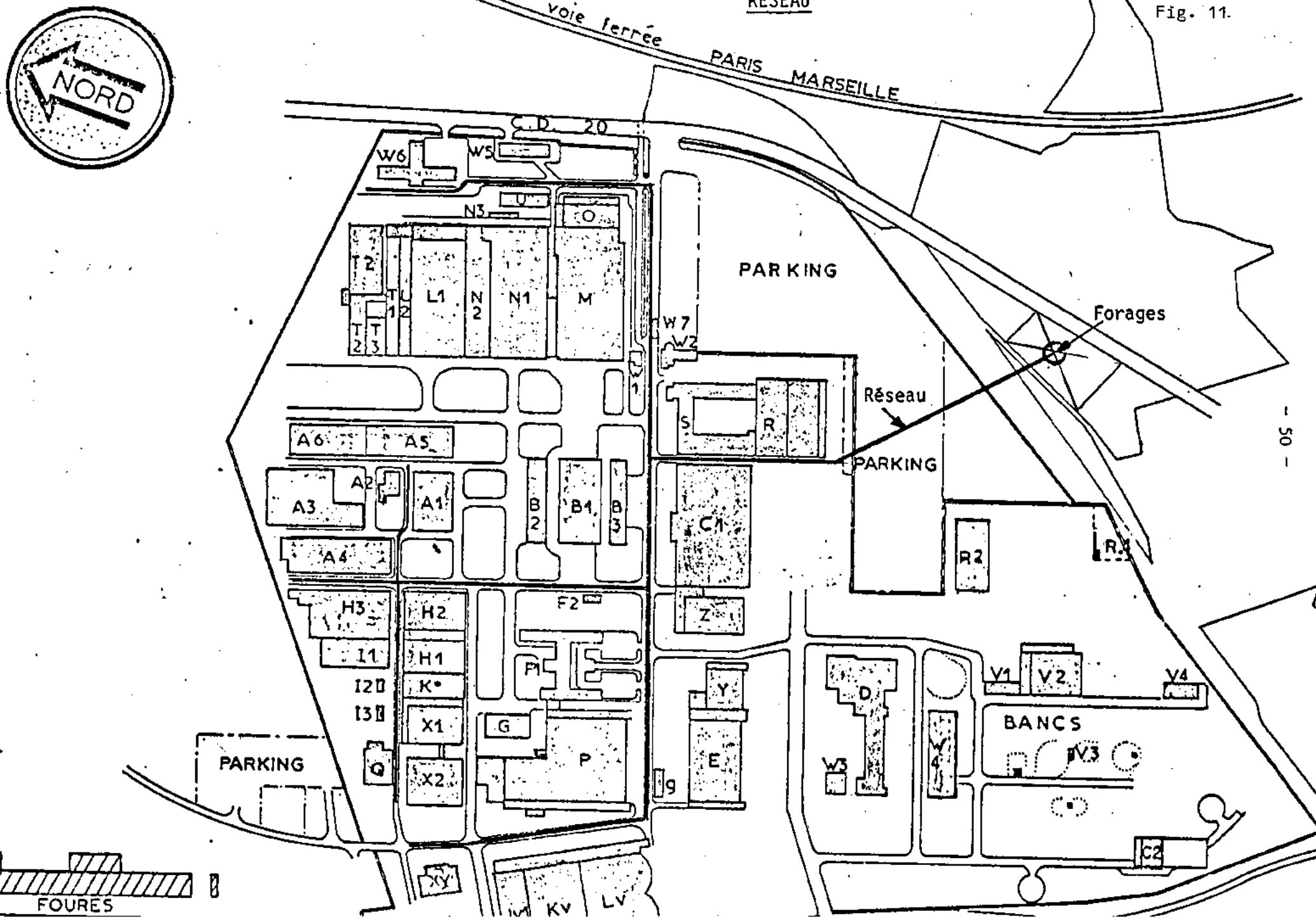


IMPLANTATION POSSIBLE DES FORAGES

RESEAU

Echelle 1/5000

Fig. 11.



## 6.2. - HYPOTHESES DE CALCUL

### 6.2.1. - Consommations pour le chauffage des bureaux et des ateliers

Comme mentionné précédemment, nous avons estimé à 10 % la part des consommations en chauffage correspondant aux besoins industriels.

La consommation en 1977 pour le chauffage des bureaux et des ateliers a donc été de :

$$82.840 \times 0,9 = 74.560 \text{ Mwh.}$$

### 6.2.2. - Puissance de chauffage appelée équivalente

Pour une température extérieure donnée Tex ; et une température à maintenir dans les locaux de 18° C (en estimant à 2° les apports gratuits : ensoleillement, usages électriques, etc...) la puissance en chauffage appelée est égale à :

$$P = GV\ (18° - Tex).$$

où G représente le coefficient de déperdition calorique (en KW/m3 °C) et V le volume des locaux en m3.

La puissance maximale appelée, en considérant que la température de base (température minimale observée au moins cinq fois dans l'année) est à MARIGNANE de - 5° C, est alors :

$$Po = GV \left[18° - (-5)\right] = GV \times 23$$

Et,à tout moment, la puissance appelée peut s'exprimer par :

$$P = Po \ \frac{(18 - Tex)}{23}$$

6.2.3. - Calcul de la puissance maximale appelée en fonction des consommations annuelles

L'énergie consommée pendant un nombre d'heures ni pendant lequel la température extérieure a été Texi s'exprime par :

$$Ei = Pni = ni \times Po \frac{(18 - Texi)}{23}$$

Pour toute la période, nous avons alors :

$$\sum Ei = \frac{Po}{23} \sum ni\ (18 - Texi) = 74.560 \text{ Mwh.}$$

Le nombre de DJ pour 1977 étant de 1512 nous avons :

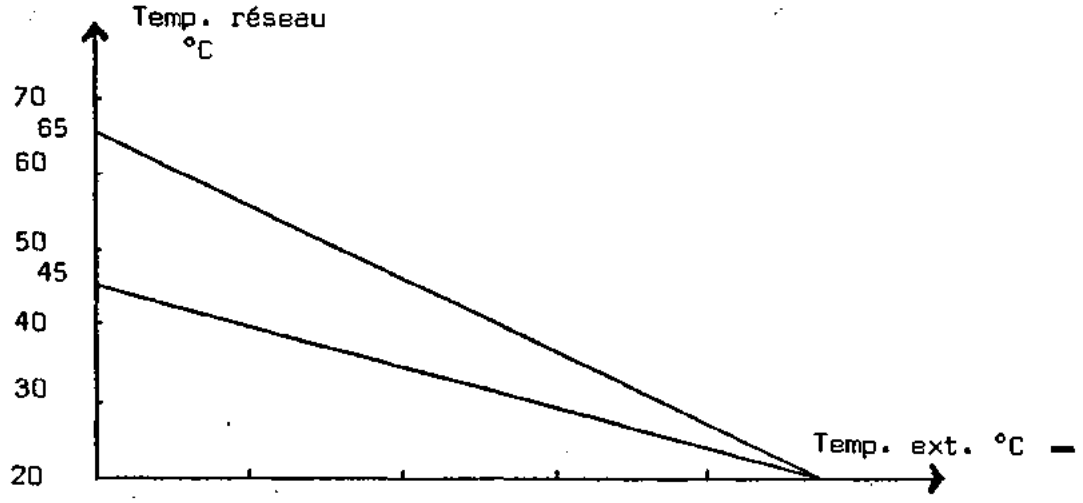
$$Po = 23 \times \frac{74.560}{24 \times 1512} = 47,26 \text{ Mw} = 47.260 \text{ Kw.}$$

6.2.4. - Puissances réseau radiateurs/réseau aérothermes

En accord avec les responsables de la SNIAS, nous avons supposé que la puissance totale était répartie à raison de 50 % sur le réseau radiateurs et 50 % sur le réseau aérothermes, soit 23.630 Kw sur chaque réseau.

6.2.5. - Réseau radiateur - Utilisation de la géothermie

On suppose que la régulation sur le secondaire est à débit constant et à modulation de la température de départ, donc de retour, en fonction de la température extérieure selon les courbes ci-dessous.



En prenant un gradient moyen de 3 et une température moyenne au sol de 12 la température de la ressource de l'eau géothermale (1) serait de 57° C. Si l'on considère 1° C de perte entre le réservoir et la surface (tubage bien isolé) et 2° C de différence entre le primaire et le secondaire de l'échangeur, la puissance du réseau géothermal pour les radiateurs est représentée à tout moment par l'équation :

$$P_{Kw} = 1,16 \times Q\ (57 - 1 - 2 - Tr) = 1,16 \times Q\ (54 - Tr)$$

avec Q débit d'eau géothermale en m3/h,
et Tr température de retour du circuit radiateurs.

Les calculs seront faits dans 2 hypothèses :

. hypothèse moyenne (ci-avant) 57° C dans le réservoir, soit 54° C disponible sur le secondaire de l'échangeur ;

. hypothèse basse : 52° C dans le réservoir, soit 49° C disponible sur le secondaire de l'échangeur.

6.2.6. - Réseau aérothermes - Utilisation de la géothermie

Les caractéristiques de l'eau géothermale contraindront probablement à avoir entre les batteries d'air et le réseau géothermal un échangeur. Si l'on consdère 5° C entre les circuits d'air et d'eau des batteries (valeur qui devrait être atteinte avec du matériel optimisé), 2° C entre le primaire et le secondaire de l'échangeur géothermal et 1° C entre le réservoir et la tête de puits, la puissance du réseau géothermal pour les aérothermes est représentée par l'équation :

$$P_{Kw} = 1,16 \times Q\ (57 - 8 - Tex)$$

$$= 1,16 \times Q\ (49 - Tex) \text{ dans l'hypothèse moyenne.}$$

$$P_{Kw} = 1,16 \times Q\ (44 - Tex) \text{ dans l'hypothèse basse.}$$

---

(1) pour une profondeur au toit de 1.500 m.

## 6.3. - RESULTATS

### 6.3.1. - Réseau radiateurs

a) *Température de transition*

C'est la température extérieure au-dessus de laquelle la géothermie peut fournir 100 % des besoins, c'est à dire pour laquelle l'équation suivante est vérifiée :

. Hypothèse moyenne (température réservoir = 57° C)

$$1{,}16\ Q\ (54 - Tr) = \frac{Po}{23}\ (18 - Tex)$$

. Hypothèse basse (température réservoir = 52° C)

$$1{,}16\ Q\ (49 - Tr) = \frac{Po}{23}\ (18 - Tex)$$

HYPOTHESE MOYENNE (T réservoir = 57° C)

| Débits (m3/h) | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Température de transition | 14,6°C | 11,8°C | 9,6°c | 7,7°C |

HYPOTHESE BASSE (T réservoir = 52° C)

| Débits (m3/h) | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Température de transition | 15,1°C | 12,7°C | 10,8°C | 9,2°C |

b) *Couverture des besoins par la géothermie*

Au-delà de la température de transition, la géothermie fournit tous les besoins en chauffage, soit,

$$\frac{Po}{23} \sum_{t+}^{18} ni \quad (18 - Texi)$$

En deçà de la température de transition, l'énergie fournie par la géothermie est égale à :

$$\sum_{-5}^{t+} 1{,}16\ Q\ (54 - Te)\ (ni) \qquad \text{(hypothèse moyenne)}$$

ou

$$\sum_{-5}^{t+} 1{,}16\ Q\ (49 - Tr)\ (ni) \qquad \text{(hypothèse basse)}$$

NB. La fréquence moyenne d'apparition prise en compte est la valeur moyenne observée sur plusieurs dizaines d'années. Le nombre de degrés jours correspondant est sensiblement plus élevé (1664) que celui observé en 1977 et l'énergie totale en chauffage des locaux équivalente est de 82.060 MWh (au lieu de 74.560 MWh).

En supposant une même consommation pour les besoins industriels, la consommation totale en chauffage serait de 90.340, ce qui correspond à peu près aux consommations de 1976 (89.000 MWh) pour laquelle le nombre de degrés jours a été de 1675, vérifiant bien les chiffres précédents.

RESULTATS

HYPOTHESE 57° C DANS LE RESERVOIR.

| Débit m3/h | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Besoins couverts par la géothermie | 13635 | 23591 | 29983 | 33957 |
| Pourcentage des besoins radiateurs | 33% | 57,5% | 73% | 83% |

HYPOTHESE 52° C DANS LE RESERVOIR

| Débit | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Besoins couverts par la géothermie MWh | 11212 | 19780 | 25953 | 30158 |
| Pourcentage des besoins radiateurs | 27% | 48% | 63% | 73,5% |

6.3.2. Réseau aérothermes

*a) Température de transition*

HYPOTHESE 57° C

| Débits m3/h | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Température de transition | 14 | 8,9 | 2,1 | -7,6 |

HYPOTHESE 52° C

| Débits m3/h | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Température de transition | 14,7 | 10,4 | 4,6 | -3,5 |

*b) Couverture des besoins par la géothermie*

HYPOTHESE 57° C

| Débit m3/h | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Besoins couverts par la géothermie MWh | 21548 | 35826 | 40653,5 | 41030 |
| Pourcentage des besoins aérothermes | 52,5% | 87,3% | 99% | 100% |

HYPOTHESE 52° C

| Débit m3/h | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---|---|---|---|---|
| Besoins couverts par la géothermie MWh | 18992 | 33319 | 39902 | 41030 |
| Pourcentage des besoins aérothermes | 46,3% | 81,2% | 97% | 100% |

6.3.3. - Conclusions - Optimisation

Comme on aurait pu le supposer, le réseau aérothermes permet une meilleure utilisation de la géothermie que le réseau radiateurs (couverture de la quasi totalité des besoins avec 300 m3/h contre seulement 73 ou 63% avec le réseau radiateurs suivant l'hypothèse de température).

D'autre part, la puissance géothermique disponible :

- augmente quand la température extérieure diminue avec le réseau aérothermes (augmentation du $\Delta t$) ;
- diminue quand la température extérieure diminue avec le réseau radiateurs (augmentation de la température des retours et diminution du $\Delta$ t).

Il apparaît ainsi que, pour un même réseau géothermal :

- il y a intérêt à utiliser la totalité de l'eau géothermale pour le circuit aérothermes, quand les températures extérieures sont basses (en-dessous de la température de transition) ;
- au-delà, il convient d'utiliser en cascade l'eau géothermale : circuit radiateurs d'abord, aérothermes ensuite, à cause d'utilisation à des niveaux de température différents dans les deux réseaux. On pourrait alors conce-

voir des installations dans lesquelles ce serait l'eau de retour du circuit radiateurs qui alimenterait les batteries d'aérothermes avant d'être réchauffée dans l'échangeur géothermique ; ceci éviterait d'avoir deux ensembles d'échangeurs, l'un pour le réseau radiateurs, l'autre pour le réseau aérothermes. Dans ce cas et avec les hypothèses de régulation précédentes la couverture totale (radiateurs + aérothermes) des besoins par la géothermie serait :

1. Température dans le réservoir 57° C

| Débits m3/h | 300 | 400 |
|---|---|---|
| Besoins couverts par la géothermie MWh | 59370 | 71440 |
| Pourcentage | 72% | 87% |

2. Température dans le réservoir 52° C

| Débits m3/h | 300 | 400 |
|---|---|---|
| Besoins couverts par la géothermie MWh | 54140 | 66630 |
| Pourcentage | 66% | 81% |

## *6.4. - RENTABILITE DE L'OPERATION*

### 6.4.1. - Investissements

FORAGES

Nous avons considéré le cas le plus pessimiste, celui d'un doublet ; le coût du forage de production seul est environ la moitié du coût du doublet. Les coûts sont mentionnés dans la partie " étude technique sommaire du sondage ". Nous comparerons les

solutions suivantes :

. 1 doublet tubé en 9" 5/8 exploitant 300 m3/h maximun ; coût : 9,2 MF.

. 2 doublets tubés en 73 exploitant respectivement 200 m3/h; coût 2 x 7,8 = 15,6 MF.

RESEAU DE SURFACE

La longueur du réseau de surface esquissé sur la figure 11 est de 2 kilomètres.

A raison de 1000 F/m, le coût total est de 2MF.

ADAPTATION DES SOUS-STATIONS

Le coût des échangeurs est évalué à :

. 1,2 MF dans la solution 300 m3/h

. 1,6 MF dans la solution 400 m3/h

Le coût des modifications en sous-stations et celui des installations de production centrale d'air pulsé dans les ateliers n'est pas chiffré. Il ne pourra être fait que par des spécialistes de la profession.

LE TOTAL DES INVESTISSEMENTS à réaliser se monte donc à :

. Doublet

- solution 300 m3/h = 12,4 MF
- solution 400 m3/h = 19,2 MF

. Pour mémoire : puits unique

- solution 300 m3/h = 7,8 MF
- solution 400 m3/h =11,4 MF

6.4.2. - Exploitation

. ECONOMIES EN ENERGIE PRIMAIRE

En considérant un coût moyen de 55 F/MWh les économies

réalisées annuellement, grâce à la géothermie, sur l'énergie primaire, sont :

- solution 300 m3/h :
  - 2,98 MF (réservoir à 52° C)
  - 3,27 MF (réservoir à 57° C)
- solution 400 m3/h :
  - 3,64 MF (réservoir à 52° C)
  - 3,93 MF (réservoir à 57° C)

. DEPENSES D'EXPLOITATION LIEES A LA GEOTHERMIE

En l'absence de données sur les caractéristiques du réservoir, il est difficile de chiffrer les coûts de pompage liés au fonctionnement des puits. Néanmoins, nous considèrerons que l'ensemble des frais d'exploitation annuels liés au réseau géothermal incluant main d'oeuvre et provisions pour gros entretien se montent à :

- 0,4 MF dans la solution 300 m3/h
- 0,5 MF dans la solution 400 m3/h

L'ECONOMIE ANNUELLE REALISEE en exploitation serait ainsi :

- solution 300 m3/h :
  - 2,58 MF (réservoir à 52° C)
  - 2,87 MF (réservoir à 57° C)
- solution 400 m3/h :
  - 3,14 MF (réservoir à 52° C)
  - 3,43 MF (réservoir à 57° C)

6.4.3. - Rentabilité

L'investissement lié aux installations géothermiques serait récupéré, sans actualisation :

- en moins de 5 ans dans les deux hypothèses de température, dans le cas d'un doublet à 300 m3/h ;
- en 6 ans ou moins, dans le cas de deux doublets exploitant chacun 200 m3/h.

## 6.5. - PROPOSITION DE PLANNING - ECHEANCIER DES INVESTISSEMENTS

Un planning très général est proposé page 64. Il suppose, que si une décision favorable est prise pour l'Aérospatiale, à la suite de cette étude, il conviendra de rechercher alors le financement des travaux à réaliser :

- engagement de principe du comité géothermie,
- subvention CCE (Communautés européennes) liée au caractère exploratoire du premier forage (engagement de principe),
- subvention " agence pour les économies d'énergie " liée aux modifications des installations de surface,
- subventions locales (EPR ...),
- fonds propres.

Parallèlement il convient de préciser l'échéancier financier pendant les premières années. Nous avons considéré que le premier forage, étant donné son caractère exploratoire, ne devrait faire engager que le minimum de frais, tout en devant permettre des débits de 150/200 m3/h en cas de succès (bon réservoir). La commande des tubes et le contrat avec le foreur seraient prévus pour un seul forage.

Les modifications sur les installations de surface et la création d'un réseau n'interviendront qu'après les essais de débit, quand le potentiel du puits en débit, température sera précisément connu.

Si la nature du fluide contraint à effectuer un puits de réinjection, celui-ci ne sera fait que quelques mois (4mois minimum) aprés la fin du 1er forage. Il conviendra entre temps de déterminer la distance des 2 forages, de préparer la plateforme, de commander le tubage et de s'assurer de la disponibilité d'une tour de forage.

Deux hypothèses d'échéancier sont présentées page 63 l'une avec réinjection, l'autre sans (1). Elles supposent l'exploitation d'un débit de 200 m3/h dont l'utilisation sera limitée aux bâtiments permettant une bonne utilisation de la géothermie (2) et limitant au minimum le réseau à créer (proximité du forage).

Le deuxième forage de production ne sera envisagé qu'après une période d'exploitation minimale d'un an de façon à mieux connaître les problèmes qui pourraient se présenter au niveau des régulations et à optimiser au mieux l'installation.

6.5.1. - Hypothèse de financement

A. Puits de production

. Forage : 4,0 MF

| | | |
|---|---|---|
| Comité GTH (remboursable si succès) | 80 % = | 3,2 MF |
| Subvention CCE (exploration) | 10 % = | 0,4 MF |
| Subvention locale | 10 % = | 0,4 MF |

. Installations de surface + Réseau = 2,5 MF

Agence pour les économies d'énergie :

25 % soit .....0,625 MF

Fonds propres SNIAS

75 % soit .....1,875 MF

B. Doublet

. Forage : 7,8 MF

Prêt comité géothermie

80 % 1er forage (4,0 MF).....3,2 MF

50 % 2ème forage (3,8 MF) .....1,9 MF

---

(1) Ces hypothèses correspondent aux planning présentés page 63

(2) définie sommairement comme représentant 50 % des besoins en chauffage - valeur pessimiste.

CCE (subvention exploration - 1er forage).....0,4 MF
Subventions locales .....0,4 MF
Fonds propres .....1,9 MF

. Installations de surface + Réseau = 2,5 MF
Agence pour les économies d'énergie
25% soit .....0,625 MF
Fonds propres SNIAS
75% soit .....1,875 MF

6.5.2. - Hypothèses d'exploitation

. Dépenses d'exploitation liées à la géothermie.....0,3 MF
. Economies en énergie primaire (50 % de celles évaluées pour 400 m3/h - 57° C).....1,970 MF

Ces dépenses et recettes ne prendront effet qu'après la première saison de chauffe, qui suivra la réalisation du réseau et les modifications des installations, soit :

- dès la saison de chauffe 1980-1981 dans le cas d'un puits de production.
- pendant les 2/3 de la saison de chauffe 1980-1981 dans le cas d'un doublet.

6.5.3. - Résultats

Les échéanciers des pages 63 et 64 rendent compte de la rentabilité de la réalisation d'un doublet 7" comparée à celle d'un seul puits de production.

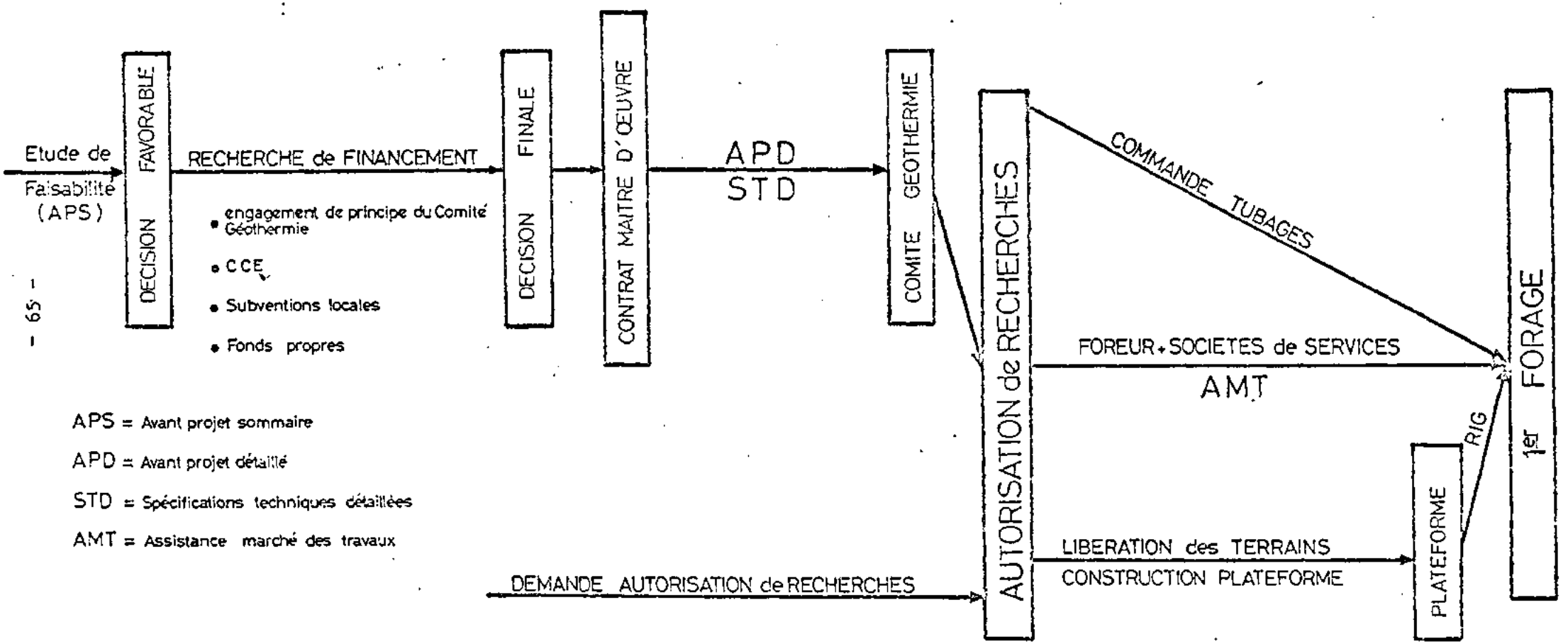
Ces tableaux font apparaître en emploi les hypothèses retenues précédemment concernant les coûts d'exploitation de forages et d'adaptation du réseau, ainsi que les annuités de remboursement du prêt du Comité Géothermie qui débuteront en 1982.

Dans le cas d'un doublet les ressources prises en compte (subventions, prêt du Comité Géothermie) et les économies réalisées font apparaître une situation de trésorerie positive dès 1981 et en situation cumulée, un recouvrement de l'avance sur fonds propres en 1986.

L'hypothèse du forage d'un seul puits de production étant bien entendu plus favorable.

Fig. 12

# CHEMIN CRITIQUE d'un PROJET de GEOTHERMIE




APS = Avant projet sommaire

APD = Avant projet détaillé

STD = Spécifications techniques détaillées

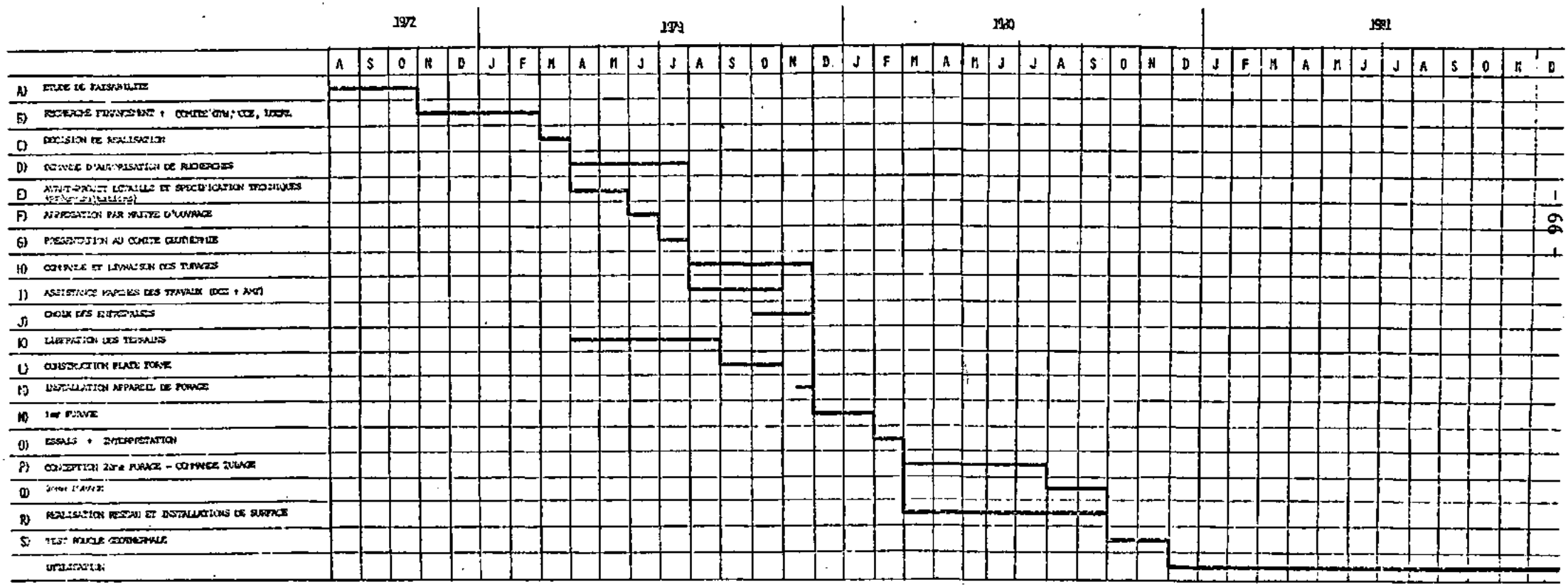
AMT = Assistance marché des travaux



G.T.H oct. 78

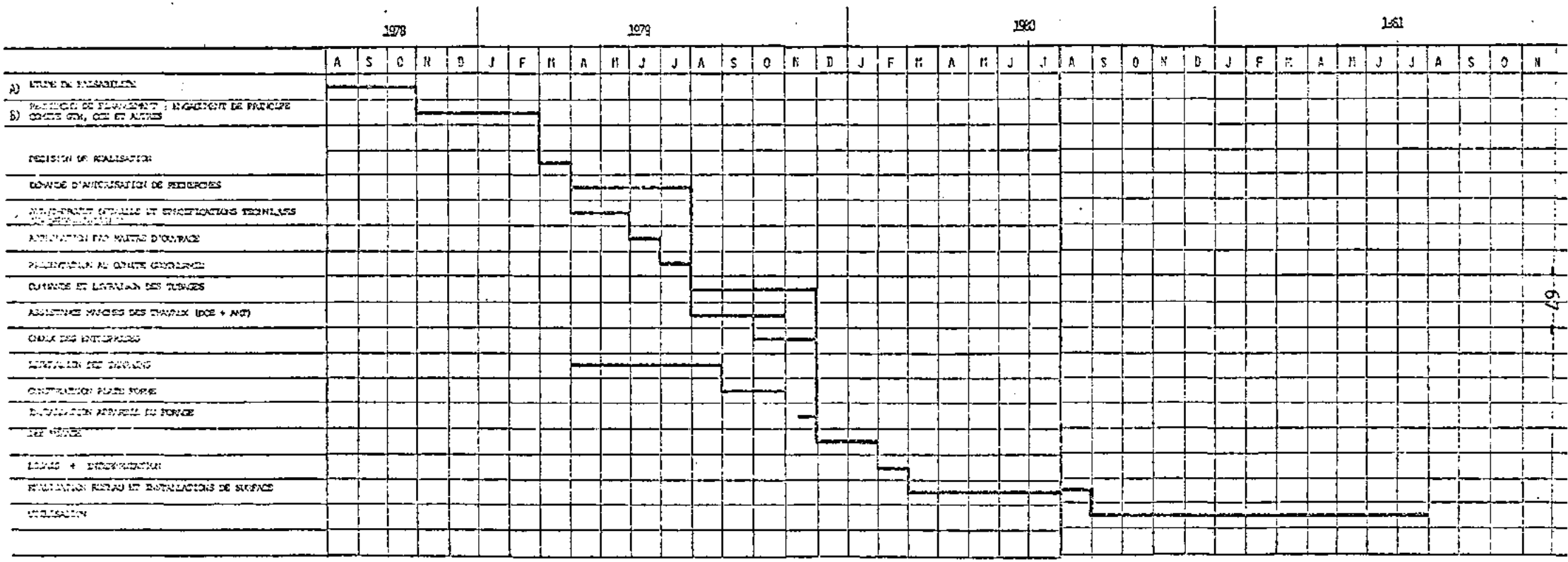
PROJET GEOTHERMIQUE : AEROSPATIALE - MARIGNANE

1 DOUBLET



PROJET GEOTHERMIQUE : AEROSPATIALE _ MARIGNANE

1 Puits de production



en KF

| ANNEE | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 et suivantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EMPLOIS | | | | | | | | | | | |
| -Coût des forages | 2 600 (1/3) | 5 200 (2/3) | | | | | | | | | |
| -Coût du réseau et adaptat. surface | | 2 500 | | | | | | | | | |
| TOTAL INVESTISSEMENTS | 2 600 | 7 700 | | | | | | | | | |
| Coûts d'exploitation | - | - | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Annuités Comité Géothermie | - | - | - | 1 071 | 1 102 | 1 112 | 1 102 | 1 071 | | | |
| TOTAL DES EMPLOIS (A) | 2 600 | 7 700 | 300 | 1 371 | 1 402 | 1 412 | 1 402 | 1 371 | 300 | 300 | 300 |
| RESSOURCES | | | | | | | | | | | |
| Subventions | | 1 425 | | | | | | | | | |
| Prêt du Comité Géothermie | 2 600 | 2 500 | | | | | | | | | |
| Fonds Propres (FP) | - | 3 775 | | | | | | | | | |
| TOTAL DES RESSOURCES (B) | 2 600 | 7 700 | | | | | | | | | |
| Economies réalisées | - | - | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 |
| Situation trésorerie SNIAS (B - A - FP) | - | (3 775) | 1 670 | 599 | 568 | 558 | 568 | 599 | 1 670 | 1 670 | 1 670 |
| Situation cumulée | - | (3 775) | (2 105) | (1 506) | (938) | (380) | (188) | 787 | 2 457 | 4 127 | 5 797 |

Tableau B

HYPOTHESE AVEC UN SEUL PUITS DE PRODUCTION 7"

en kF

| ANNEE | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 et suivantes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EMPLOIS | | | | | | | | | | | |
| -Coût des forages | 2 000 (1/2) | 2 000 (1/2) | | | | | | | | | |
| -Coût du réseau et adaptat surface | | 2 500 | | | | | | | | | |
| TOTAL INVESTISSEMENTS | 2 000 | 4 500 | | | | | | | | | |
| Coûts d'exploitation | - | 100 (1/3) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Annuités Comité Géothermie | - | - | - | 672 | 691 | 698 | 691 | 672 | | | |
| TOTAL DES EMPLOIS (A) | 2 600 | 4 600 | 300 | 972 | 991 | 998 | 991 | 972 | 300 | 300 | 300 |
| RESSOURCES | | | | | | | | | | | |
| Subventions | | 1 425 | | | | | | | | | |
| Prêt du Comité Géothermie | 2 000 | 1 200 | | | | | | | | | |
| Fonds Propres (FP) | - | 1 318 | | | | | | | | | |
| TOTAL DES RESSOURCES | 2 600 | 3 943 | | | | | | | | | |
| Economies réalisées | - | 657 (1/3) | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 | 1 970 |
| Situation trésorerie (B-A-FP) | - | (1 318) | 1 670 | 998 | 979 | 972 | 979 | 998 | 1 670 | 1 670 | 1 670 |
| Situation cumulée | - | (1 318) | 352 | 1 350 | 2 329 | 3 301 | 4 280 | 5 278 | 6 948 | 8 618 | 10 288 |

# 7

# ETUDE TECHNIQUE SOMMAIRE DU SONDAGE

## 7.1. - COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE

Le sondage débutera dans le Rognacien inférieur essentiellement argileux et traversera ensuite une épaisse série de Bégudien dont l'épaisseur exacte est très difficile à évaluer en l'absence de sondages de référence (le sondage de Rognac ; 1020.3.40) n'a pas atteint la base du Bégudien et a été arrêté à 569 m de profondeur).

L'épaisseur du Valdo-Fuvélien est difficile à apprécier mais sera certainement inférieur à 300 m.

L'épaisseur du Crétacé supérieur marin et du Crétacé moyen sont difficiles à évaluer étant donné leur disparition du Sud vers le Nord ; si la série est complète l'épaisseur globale de ces formations serait de l'ordre de 600 à 700 m.

Le toit du barrémien pourrait se situer entre 1500 et 2000 m de profondeur (1) l'objectif serait pénétré de 100 à 200 m environ.

La coupe prévisionnelle (Fig. 13 ) que nous avons établie à partir des formations connues en surface (épaisseurs et lithofaciès) permet d'appréhender raisonnablement l'objectif ; l'existence de failles en profondeur est cependant susceptible de modifier ces prévisions.

## 7.2. - REJET OU REINJECTION

Le problème du rejet des eaux utilisées devra être étudié en fonction de la qualité chimique de l'eau ; une évacuation vers l'Etang de Berre peut être envisagée.

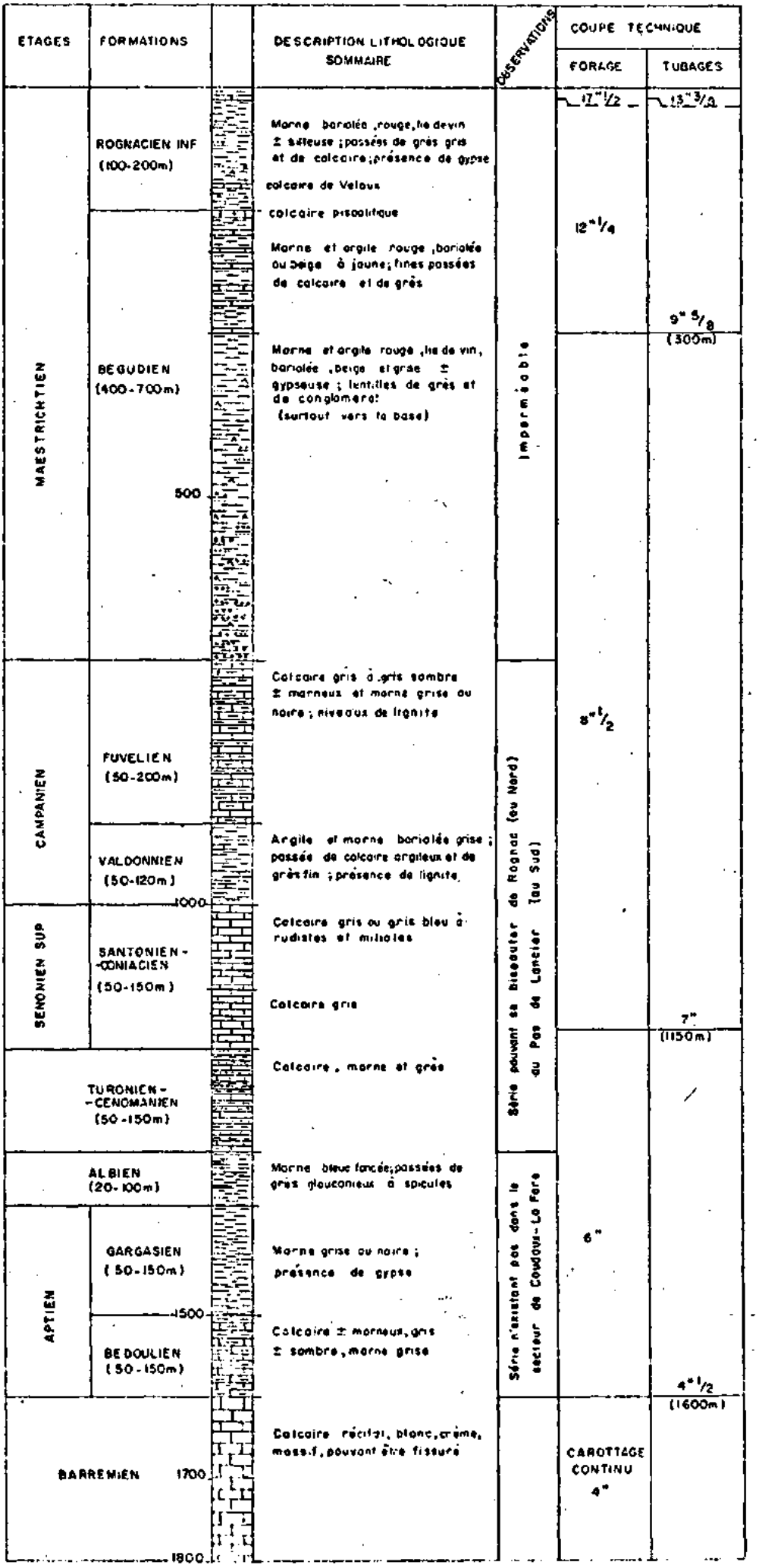
---

(1) Compte tenu des données récentes (sondage HBCM - CA.1 - CA.2 - AP.2 - effectués depuis la première interprétation) on peut préciser que le mur du Valdo-Fuvélien serait à environ - 1.400 NGF, le toit de l'objectif Barrémien se situerait donc vers la cote - 2.000 NGF. Une réactualisation des prévisions du sondage sera effectuée dès que la décision de réalisation sera prise.

# COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE PREVISIONNELLE

## SONDAGE DE RECONNAISSANCE

Fig. 13



Les coupes techniques prévisionnelles présentées incluent le forage de réinjection.

## 7.3. - COUPE TECHNIQUE PREVISIONNELLE

Dans l'hypothèse d'un bon réservoir, la limitation du débit maximum dépend principalement des caractéristiques techniques du forage : un tubage de production en 7" (160 mm intérieur) limite le débit maximal d'un puits à environ 200 m3/h (au-delà les pertes de charge augmentent très rapidement). Le diamètre supérieur (9" 5/8, soit environ 220 mm intérieur) permettrait, toujours dans l'hypothèse d'un bon réservoir, d'augmenter les débits jusqu'à 300 m3/h.

Sur la coupe technique prévisionnelle (Fig. 14) nous avons envisagé un tubage de production en 7". La cote du sabot du 7" (2.000 m) correspond aux dernières estimations faites suite aux forages HBCM - CA.1 - CA.2 - AP.2.

Les cotes sont données à titre indicatif car il n'existe dans le voisinnage aucun sondage profond de référence permettant d'établir des prévisions précises ; la conduite du sondage devra donc s'effectuer en fonction de l'évolution des résultats acquis lors de la foration ; le programme technique pourra donc comporter des modifications par rapport à ceux établis ci-après :

### 7.3.1. - Puits d'injection

Terrain de surface : forage en 17" 1/2 tubage en 13" 3/8 (sabot à 10 - 50 m).

Rognacien et Bégudien supérieur : forage 12" 1/4 tubage au 9" 5/8 Sabot à 300 m.

Bégudien inférieur, Valdo-Fuvélien et Crétacé supérieur calcaire, Crétacé moyen et Albo-Aptien : forage en 8" 1/2. Tubage en 7" - (Sabot à 2.000 m) (1).

---

(1) Remarques : Si des pertes incolmatables sont rencontrées au niveau du Sénonien supérieur le 7" serait alors descendu à la base de cette formation. Un liner 5" 1/2 serait alors descendu au toit du Barrémien.

Barrémien : carottage continu 4" - puis alésage en 6" 1/4.

15 carottes (longueur de 6 m) pourront être prélevées afin de pouvoir préciser la nature des terrains traversés ainsi que le pendage des couches ; vu le diamètre du trou, les carottes pourront avoir un diamètre d'environ 4".

A partir de 500 m de profondeur la déviation sera mesurée (au TOTCO) au changement d'outil.

Les caractéristiques de la boue (densité, viscosité, flitrat, cake et pH) seront mesurées au moins deux fois par poste lors de la foration.

Deux essais de débit ou tests DST pourront être effectués en cours de foration à la demande du géologue (Sénonien inférieur ou Turonien par exemple).

### 7.3.2. - Puits de production

Celui-ci doit comporter dans la partie supérieure une chambre de pompage, dont la profondeur a été limitée à 300 m, et qui doit permettre de descendre une pompe (immergée ou à axe vertical) permettant d'obtenir les débits souhaités. Le diamètre de cette chambre de pompage a été prévu en 11" 3/4.

## *7.4. - PROGRAMMES DE DIAGRAPHIES*

- Avant descente des colonnes de production BGT - CAL - GAMMA RAY
- Après forage du réservoir

  CBL - VD

  CNL

  GAMMA RAY - MICROLOG - CALIPER

  ETT

- Après stimulation

  FLOWMETRE

  CALIPER

  THERMOMETRIE en statique et en débit

## 7.5. - PROGRAMMES DE COMPLETION

- Stimulation après foration des réservoirs, les forages seront mis en eau claire puis stimilés par acidifications et pompage à l'air lift.

  Entre chaque acidification, des mesures de débit et de remontée de pression seront effectuées.

## 7.6. - COUT DES FORAGES

A titre indicatif en tenant compte des cotes estimées, des coûts de forage ont été calculés dans les hypothèses suivantes :

- doublet en forages verticaux tubés en 9" 5/8 (soit 300 m3/h maximum par doublet).....9.200.000 F HT

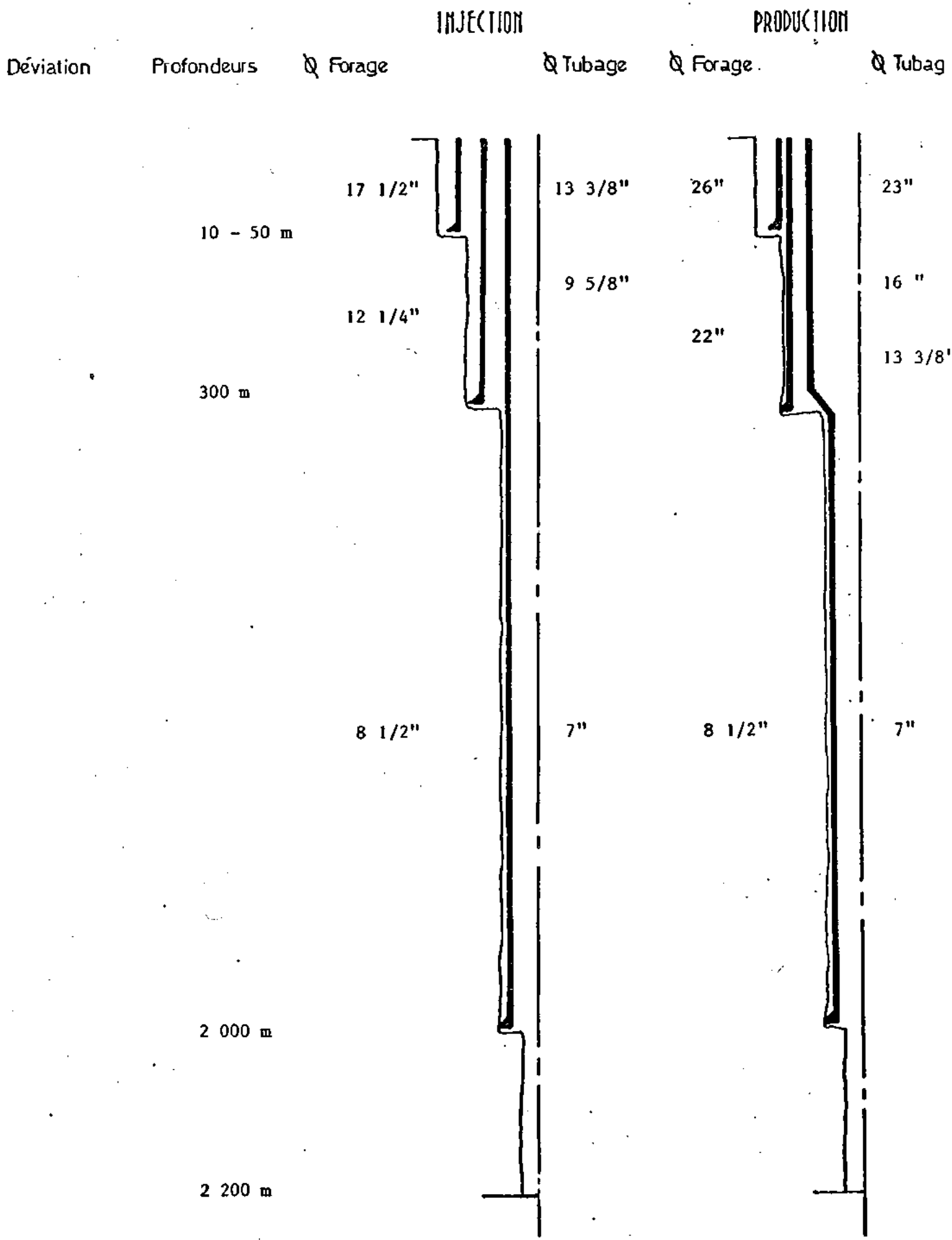
- doublet en forages verticaux tubés en 7" (soit 200 m3/h maximum par doublet) .....7.800.000 F HT

- doublet en forages déviés tubés en 7" (soit 200 m3/h maximum par doublet) .....8.500.000 F HT

Fig. 14

# COUPE TECHNIQUE DES FORAGES

Débit maximum : 200 $m^3/h$



B

# C O N C L U S I O N

Dans les limites de l'Etablissement de l'Aérospatiale à MARIGNANE, le seul objectif pour une recherche d'eau chaude par sondage profond est constitué par l'Urgonien ; cette formation est constituée par une épaisse série calcaire pouvant être fissurée.

La paléogéographie permet cependant de situer ce secteur dans le synclinal médian couvert par de l'Aptien marneux et par une épaisse série médio-crétacée.

L'Urgonien n'ayant probablement pas été émergé dans l'axe du synclinal sera peu ou pas karstifié et de ce fait moins perméable que sur les bordures de la structure.

Dans le bassin d'Aix - Etang de Berre, des manifestations thermales probablement liées à des accidents profonds sont connues et constituent un facteur encourageant pour une recherche de ressources géothermiques à MARIGNANE ; en l'absence de données géothermiques profondes on ne peut cependant pas augurer de la température du fluide géothermal à 1.700 - 2.000 m, qui correspond à la profondeur approximative de l'objectif.

Un sondage (2.000 m de profondeur environ) est proposé mais le succès de l'opération ne peut être garanti.

Des besoins en chauffage très importants à des niveaux de température différents permettant une utilisation en cascade constituent pour la Société Nationale Industrielle Aérospatiale à MARIGNANE des éléments très intéressants pour une utilisation de la géothermie.

En effet, même dans l'hypothèse pessimiste d'une température dans le réservoir de 52° C, la géothermie permettrait d'économiser annuellement :

- 54.140 MWh avec un débit disponible de 300 m3/h ;
- 66.130 MWh avec un débit disponible de 400 m3/h.

En considérant le cas le plus pessimiste nécessitant un puits de réinjection (solution doublet), on constate que les investissements liés aux installations géothermiques seraient récupérés, sans actualisation :

- en cinq ans dans le cas d'un doublet exploitant 300 m3/h ;
- en six ans dans le cas de deux doublets exploitant chacun 200 m3/h.

Il semble que le risque lié à la température dans le réservoir ne soit pas important puisque l'hypothèse la plus pessimiste prise en compte (52° C) correspond à un gradient de 2,8° C/100 m (pour un réservoir à 1.500 m).

Par contre, les aléas sur les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir ne pourront être levés avant que le premier forage ne soit terminé. Il conviendra donc de trouver, en cas de réalisation, une couverture du risque géologique de 100 % sur le premier forage.

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

G. DUROZOY : Evaluation des ressources hydrauliques - Zone de l'Etang de Berre - Bassin de l'Etang de Berre - Rapport B.R.G.M. 74. SGN. 267. PRC.

G. DUROZOY : Evaluation des ressources hydrauliques Bassin de la Touloubre - Rapport B.R.G.M. 73. SGN. 326. PRC.

Cl. FROJET : Sur les sources thermales sulfureuses de l'anse d'Arnette (chaîne de la Nerthe) - C.S. Soc. Géol. Fr. 1964 - p. 365

Cl. GUIEU : Etude tectonique de la région de MARSEILLE - Thèse Universeité d'AIX - MARSEILLE 1968.

AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

BASSIN DE L'ARC

CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE

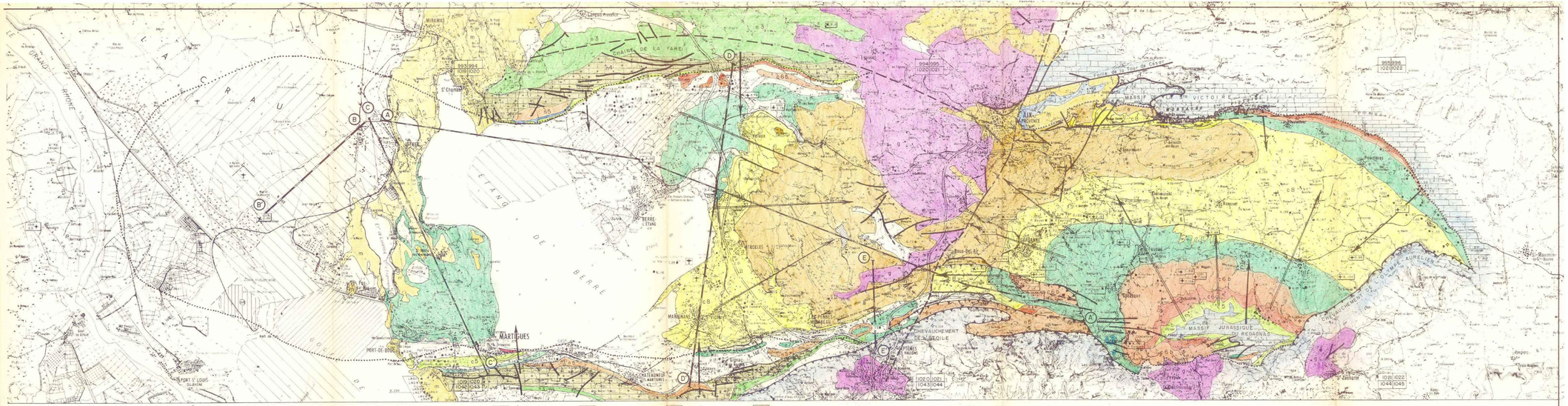
ESQUISSE STRUCTURALE

PLAN DE SITUATION DES SONDAGES ET DES COUPES GEOLOGIQUES

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| | |
|---|---|
| Annexe n° 1 | MODIFICATIONS |
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |




LEGENDE

- Sondage et son numéro d'ordre B.R.G.M
- Puits de mine
- Source ou venue d'eau
- Sondage ne dépassant pas 200 m
- Sondage de profondeur comprise entre 200 et 400 m
- Sondage de profondeur comprise entre 400 et 1000 m
- Sondage de profondeur supérieure à 1000 m
- Quaternaire
- Quaternaire, Pliocène
- Quaternaire, Miocène
- Quaternaire, Bégudien
- Quaternaire, Cénomanien
- Quaternaire, Urgonien
- m Miocène
- g Oligocène
- e Eocène
- c8 Rognacien calcaire de Rognac
- c7 Bégudien
- c6b Fuvélien
- c6a Valdonnien
- c5 Santonien (Coniacien)
- c4 Turonien
- c3 Cénomanien
- n5 Aptien
- u Urgonien
- n3-n4 Nécomien
- k3 Jurassique
- Limite approximative du bassin fluvio-lacustre
- Chevauchement
- Faille
- Direction structurale post-bégudienne
- Direction structurale du substratum anté-fluviolacustre
- Axe anticlinal
- Axe synclinal
- Coupe géologique

AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

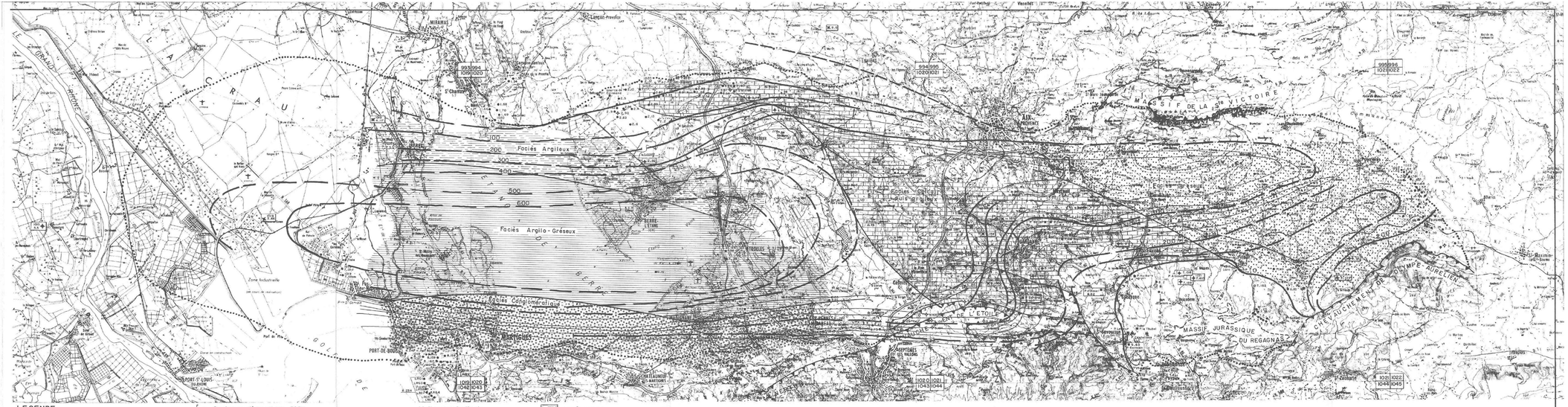
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

ESSAI DE CARTE EN ISOPAQUES ET DES LITHOFACIES DU BEGUDIEN

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| | |
|---|---|
| Annexe n° 2 | MODIFICATIONS |
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |




LEGENDE

- Sondage et son numéro d'ordre B.R.G.M.
- Puits de mine
- Source ou venue d'eau
- Sondage ne dépassant pas 200 m
- Sondage de profondeur comprise entre 200 et 400 m
- Sondage de profondeur comprise entre 400 et 1000 m
- Sondage de profondeur supérieure à 1000 m
- Limite approximative du bassin Fluvio-lacustre
- Chevauchement
- Courbe isopaque
- Courbe isopaque interprétée (100m)
- Courbe intercalaire
- Faciès argileux
- Faciès argilo-gréseux
- Faciès conglomératique
- Bégudien supérieur calcaire et Bégudien inférieur argileux
- Faciès gréseux

AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

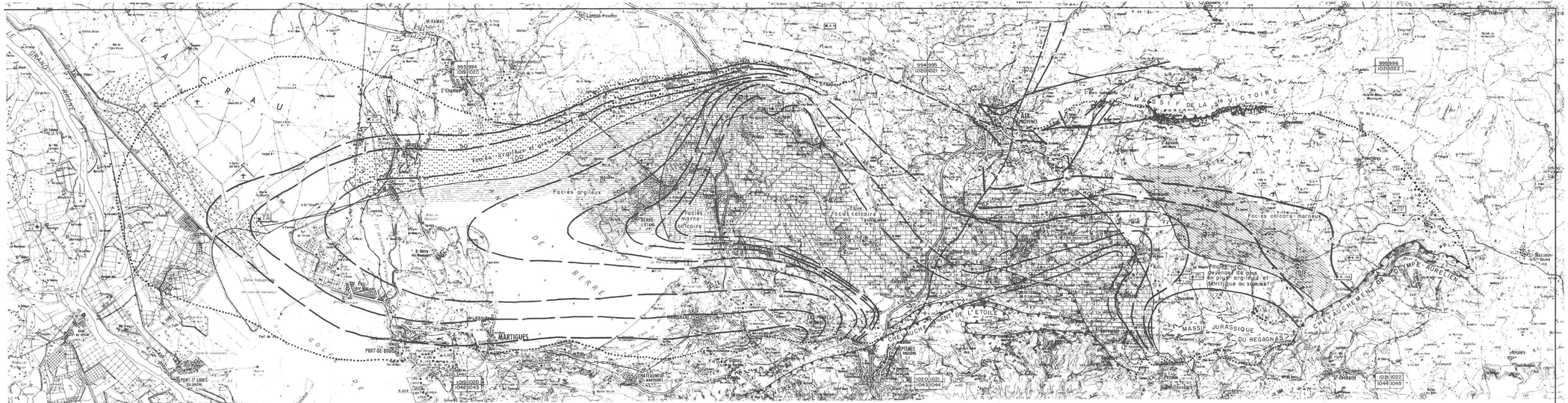
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

ESSAI DE CARTE EN ISOPAQUES ET DES LITHOFACIES DU FUVELIEN

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| Annexe n° 3 | MODIFICATIONS |
|---|---|
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |



AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

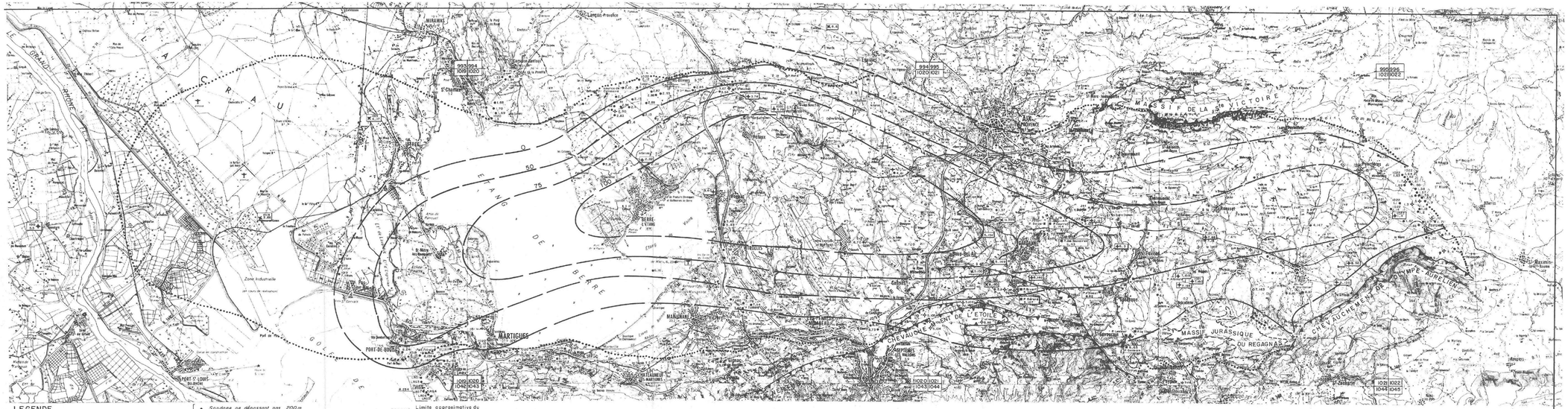
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

ESSAI DE CARTE EN ISOPAQUES DU VALDONNIEN

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL
PROVENCE-CORSE

| | |
|---|---|
| Annexe n° 4 | MODIFICATIONS |
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |



AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

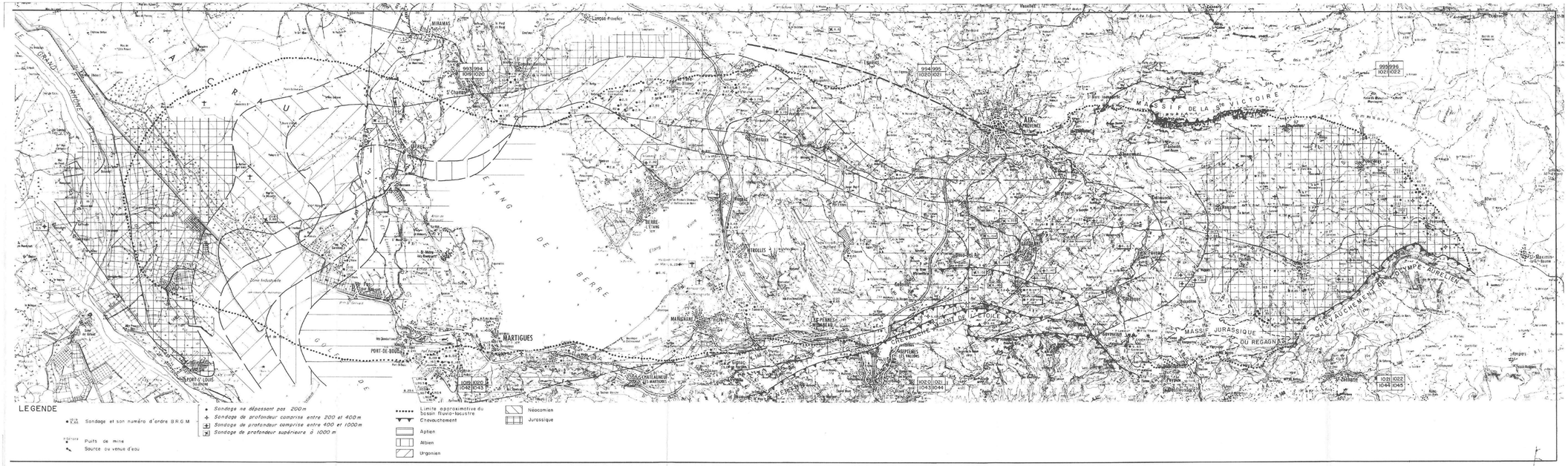
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

ESSAI D'ECORCHE ANTE-CENOMANIEN

Echelle: 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| | |
|---|---|
| Annexe n° 5 | MODIFICATIONS |
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |



AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

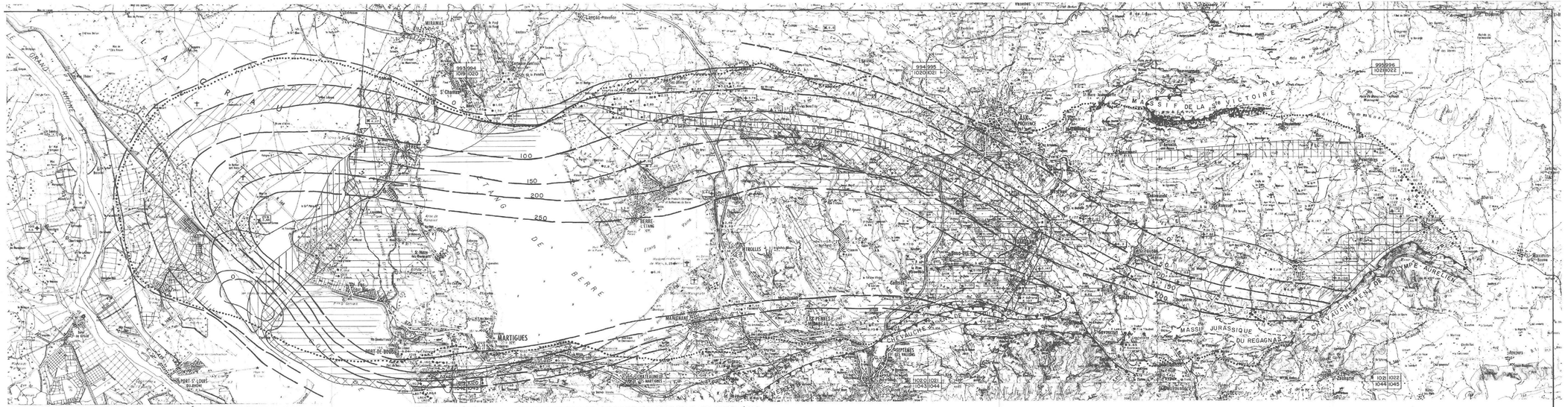
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

ESSAI DE CARTE EN ISOPAQUES DU CRETACE SUPERIEUR ANTE-CAMPANIEN ( SENONIEN INFERIEUR _ TURONIEN _ CENOMANIEN )

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| | |
|---|---|
| Annexe n°6 | MODIFICATIONS |
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |



AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

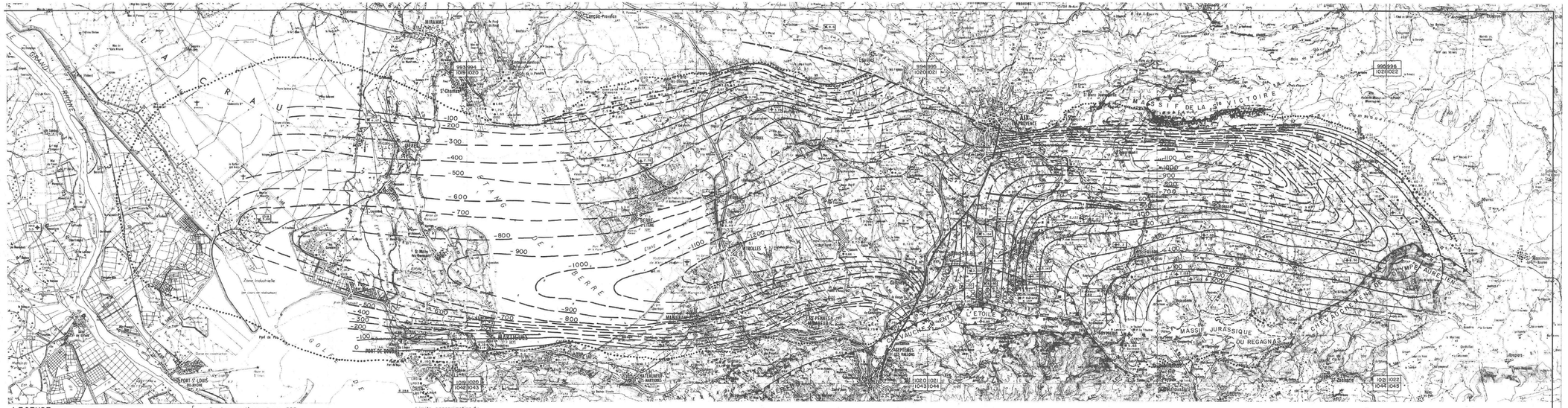
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

ESQUISSE STRUCTURALE DU TOIT DU VALDONNIEN

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| Annexe n° 7 | MODIFICATIONS |
|---|---|
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |


LA CRAU
ETANG DE BERRE
GOLFE DE FOS
MARIGNANE
MIRAMAS
MARTIGUES
PORT DE BOUC
PORT ST LOUIS DU RHONE
LE RHONE
ISTRES
ZONE INDUSTRIELLE
MASSIF DE LA STE VICTOIRE
MASSIF JURASSIQUE DU REGAGNAS
CHAINE DE L'ETOILE
CHAINE DE L'ARBOIS
CHAINE DE L'ESTAQUE
CHAINE DE LA NERTHE
CHAINE DE LA GARDE
CHAINE DE LA TRESORIERE
CHAINE DE LA GRANDE CAMPAGNE
CHAINE DE L'ANSE DES LAURONS
CHAINE DE LA MIRE
CHAINE DE LA MOURRE
CHAINE DE LA MAURE
CHAINE DE LA MAURE
CHAINE DE LA MAUR

AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

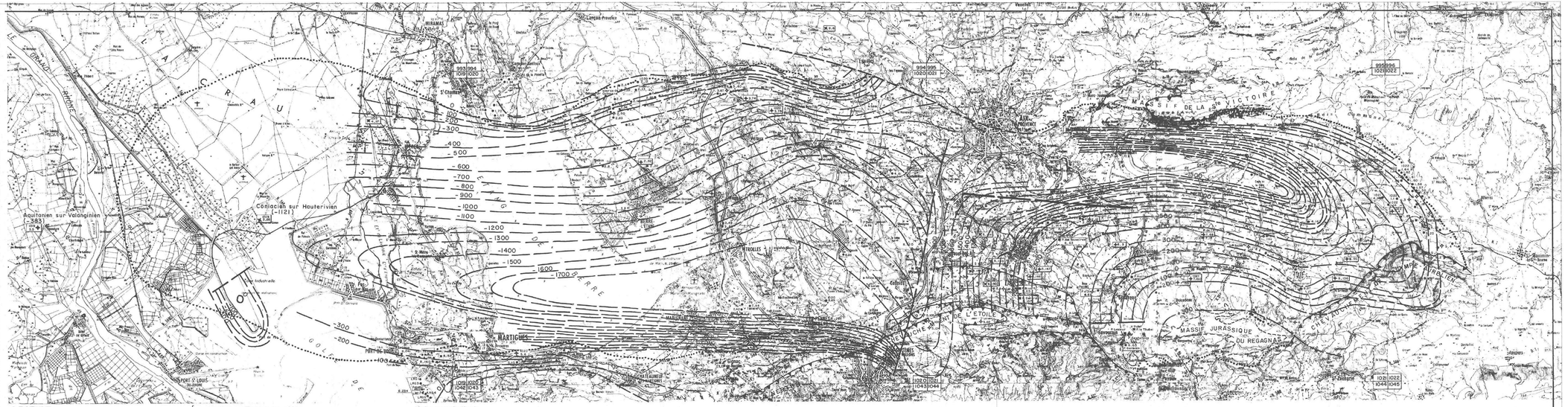
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

## ESQUISSE STRUCTURALE DU TOIT DE L'URGONIEN

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| Annexe n° 8 | MODIFICATIONS |
|---|---|
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |




LEGENDE

- Sondage et son numéro d'ordre B.R.G.M
- Puits de mine
- Source ou venue d'eau
- Sondage ne dépassant pas 200 m
- Sondage de profondeur comprise entre 200 et 400 m
- Sondage de profondeur comprise entre 400 et 1000 m
- Sondage de profondeur supérieure à 1000 m
- Limite approximative du bassin fluvio-lacustre
- Chevauchement
- Courbe isobathe controlée par sondage
- Courbe isobathe interprétée

AEROSPATIALE

ETABLISSEMENT DE MARIGNANE

# ETUDE DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES A MARIGNANE

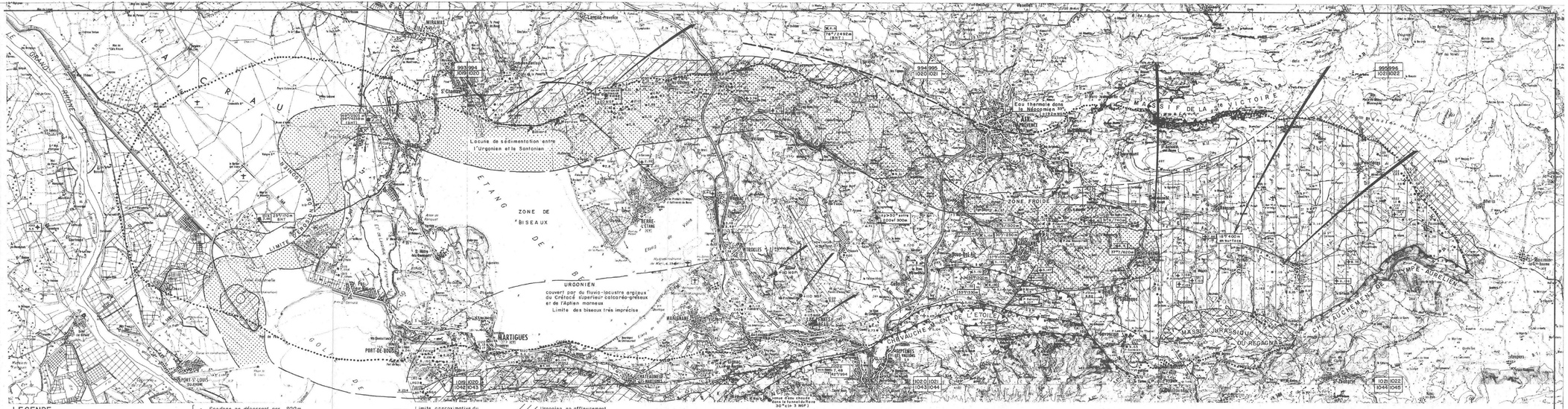
## AVANT PROJET TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

### CARTE DES DONNEES GEOTHERMIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

Echelle : 1/100 000

SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL PROVENCE-CORSE

| | |
|---|---|
| Annexe n° 9 | MODIFICATIONS |
| Dessiné le Mars 1978 | |
| 78 SGN 321 PRC | |




LEGENDE

- Sondage et son numéro d'ordre B.R.G.M
- Puits de mine
- Source ou venue d'eau
- Sondage ne dépassant pas 200 m
- Sondage de profondeur comprise entre 200 et 400 m
- Sondage de profondeur comprise entre 400 et 1000 m
- Sondage de profondeur supérieure à 1000 m
- Limite approximative du bassin fluvio-lacustre
- Chevauchement
- Sens des circulations souterraines
- Urgonien en affleurement
- Limite approximative du karst actif de l'Urgonien; Urgonien peu ou pas couvert par du Crétacé moy et sup. marin
- Zone où le Néocomien est peu épais ou absent (possibilité de communication entre les aquifères du Jurassique et de l'Urgonien)
- Jurassique en affleurement

# ETUDE TECHNIQUE SOMMAIRE DU SONDAGE

## COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE

Le sondage débutera dans le Rognacien inférieur essentiellement argileux et traversera ensuite une épaisse série de Bégudien dont l'épaisseur exacte est très difficile à évaluer en l'absence de sondages de référence (le sondage de Rognac , 1020 3 40) n'a pas atteint la base du Bégudien et a été arrêté à 569 m de profondeur)

L'épaisseur du Valdo-Fuvélien est difficile à apprécier mais sera certainement inférieure à 300 m.

L'épaisseur du Crétacé supérieur marin et du Crétacé moyen est difficile à évaluer étant donné leur disparition du Sud vers le Nord , si la série est complète l'épaisseur globale de ces formations serait de l'ordre de 600 à 700 m

Le toit du Barrémien pourrait se situer entre 1 500 et 2 000 m de profondeur (1) , l'objectif serait pénétré de 100 à 200 m environ

La coupe prévisionnelle (Fig 1) que nous avons établie à partir des formations connues en surface (épaisseurs et lithofaciès) permet d'appréhender raisonnablement l'objectif , l'existence de failles en profondeur est cependant susceptible de modifier ces prévisions.

Une actualisation des prévisions du sondage sera à effectuer lorsque la décision de réaliser les travaux sera prise

---

(1) Compte tenu de données récentes (sondages H.B C M - CA 1 - CA 2 et AP 2 effectués depuis la rédaction de ce rapport) on peut préciser que la base du Fuvélien pourrait se situer vers la cote - 1 400 NGF , le toit de l'objectif Barrémien se situerait donc plutot vers la cote - 2.000 NGF