
PREFECTURE DE LA REGION AQUITAINE



*Gestion des eaux souterraines en Aquitaine
Année 1*

*Opération sectorielle
Relations entre l'estuaire de la Gironde
et la nappe de l'Eocène*

*Synthèse des connaissances géologiques
Etat des connaissances hydrogéologiques*

Etude soutenue dans le cadre des actions de Service Public du BRGM 96 D 421

Février 1997
R 39328



PREFECTURE DE LA REGION AQUITAINE



Ministère de l'Industrie
de la Poste et des
Télécommunications



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

R E G I O N



AQUITAINE

DRIRE
AQUITAINE



*Gestion des eaux souterraines en Aquitaine
Année 1*

*Opération sectorielle
Relations entre l'estuaire de la Gironde
et la nappe de l'Eocène*

*Synthèse des connaissances géologiques
Etat des connaissances hydrogéologiques*

J.P. Platel

avec la collaboration de

J. Dubreuilh, H. Bonnery, B. Sourisseau, A. Besse, F. Le Jeune, S. Benhammouda

Février 1997

R 39328



Synthèse

L'opération sectorielle sur les *Relations entre l'Estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène moyen* s'intègre dans un important programme de gestion des nappes d'eau souterraine de la Région Aquitaine. Cette opération particulière est liée aux problèmes d'alimentation en eau des sites urbains et industriels de l'agglomération bordelaise et des zones portuaires de Bassens et de la presqu'île du Bec d'Ambès, qui extraient l'essentiel des ressources de la nappe de l'Eocène moyen. Fortement surexploitée, cette nappe verrait sa qualité mise en péril par des risques d'invasion d'eau saumâtre provenant de l'estuaire. En effet, l'exutoire principal, peut-être unique, de la nappe de l'Eocène moyen est situé dans l'Estuaire de la Gironde et un réel danger d'invasion d'une partie du réservoir éocène par les eaux saumâtres peut donc surgir si l'abaissement piézométrique devenait trop fort dans le nord de la Gironde.

Au terme de la première année de l'étude, la réinterprétation géologique du secteur autour et sous l'estuaire, appuyé par une campagne de géophysique électrique et un sondage de 111 m, a permis de préciser le contexte géométrique du réservoir éocène, ses variations lithologiques majeures verticalement et horizontalement et ses rapports avec les formations superposées. Un bilan synthétique des connaissances hydrogéologiques sur la nappe a également été dressé, avec comparaison des paramètres de pressions hydrostatiques entre la nappe et l'estuaire et des paramètres hydrochimiques avec la salinité longitudinale des eaux de la Gironde.

L'ensemble des résultats de cette première phase d'étude permet donc de délimiter et de hiérarchiser trois secteurs plus sensibles, à risque potentiel d'invasion d'eau salée. Il faut souligner que dans les deux secteurs nord et central, le risque d'invasion est nettement plus grand *entre le mois d'août et le mois d'octobre*, correspondant à l'étiage fluvial.

Secteur nord: entre Phare de Richard et St-Yzans-de-Médoc (PK 77 à PK 63,5)

En particulier de Valeyrac à Port de By (PK 74 à PK 62), la zone semble plus vulnérable à cause de la grande étendue des calcaires éocènes au fond du chenal, de la faible profondeur du toit des grès, de la faible pression de la nappe relativement à l'étiage marin (+3,5 m à +4,5 m) et de la forte salinité des eaux estuariennes (jusqu'à 18 g/l).

Secteur central: St-Estèphe-Pauillac (PK 58 à PK 52)

Autour du PK 55 le secteur présente un risque non négligeable car le niveau piézométrique actuel de la nappe éocène est voisin du 0 NGF, voire négatif en étiage. Toutefois la salinité de l'estuaire n'atteint que 5 à 9 g/l dans ce secteur.

Secteur sud: à l'ouest de la Passe de Cussac (PK 36 à PK 38)

Beaucoup moins vulnérable que les deux autres secteurs, il se trouve actuellement protégé par un niveau piézométrique élevé, même en étiage, exerçant une pression hydrostatique toujours ascendante de la nappe, quelque soit le coefficient et le niveau de la marée.

En année 2, il est prévu la réalisation de 3 à 5 sondages piézométriques traversant tout le réservoir aquifère de l'Eocène moyen. Avec le premier sondage à Port de Goulée, qui a déjà recoupé une partie salée du réservoir (5 g/l), ils constitueront le réseau de surveillance et d'alerte le long de l'estuaire de la Gironde. Après l'acquisition des caractéristiques hydrodynamiques locales, les diagraphies de conductivité et les analyses physico-chimiques régulières de l'eau permettront de caractériser l'état initial des qualités de l'eau dans ce secteur.

Sommaire

1. Introduction	1
1.1. Cadre général du projet	1
1.2. Problème posé et objectifs de la recherche	3
1.3. Programmation des études et travaux	7
2. Problème du biseau salé	8
2.1. Notions de base sur les biseaux salés	8
2.1.1. Nappe libre	8
2.1.2. Nappe captive	9
2.1.3. Zone de diffusion	11
2.1.4. Aquifères multicouches	11
2.2. Mise en évidence de biseau salé	11
2.2.1. Prospection géophysique	12
2.2.2. Diagraphies électriques	14
2.2.3. Analyses physico-chimiques	17
2.3. Influence des pompages sur le biseau salé	17
2.4. Contrôle et réseau d'alerte	18
3. Description du milieu physique de l'estuaire de la Gironde	19
3.1. Cadre géomorphologique et géologique	19
3.1.1. Rive droite	19
3.1.2. Rive gauche	21
3.1.3. Estuaire proprement dit	22
3.1.4. Evolution morphologique actuelle	25
3.2. Hydrodynamique de l'estuaire	26
3.2.1. Débits fluviaux	26
3.2.2. Marée	27
3.2.3. Paramètres physico-chimiques	28
3.3. Dynamique sédimentaire	35
3.3.1. Transport des sables	35
3.3.2. Dynamique des matières en suspension	37
4. Synthèse des connaissances géologiques sur le substratum de l'estuaire	42
4.1. Démarche suivie et représentation des résultats	42
4.2. Description lithostratigraphique	43
4.2.1. Crétacé supérieur (Campanien à Santonien)	43
4.2.2. Eocène inférieur	45
4.2.3. Eocène moyen	46
4.2.4. Eocène supérieur	46
4.2.5. Oligocène	47
4.2.6. Quaternaire	47

4.3. Contexte structural	50
4.3.1. Pendages	50
4.3.2. Failles	50
4.3.3. Structuration souple	50
4.4. Relations entre le Tertiaire et le fond de l'Estuaire	51
4.4.1. Estuaire aval	52
4.4.2. Estuaire amont	53
4.5. Apports de la campagne de géophysique électrique	80
4.5.1. Mise en oeuvre de la campagne	80
4.5.2. Sondages électriques d'étalonnage	80
4.5.3. Coupes profondeur	82
4.5.4. Comparaison des résultats avec les études antérieures	84
4.5.5. Synthèse des résultats géophysiques	85
4.6. Sondage de reconnaissance de Port-de-Goulée	95
4.6.1. Objectifs	95
4.6.2. Implantation	95
4.6.3. Réalisation	95
4.6.4. Résultats	96
4.7. Délimitation de zone à risque potentiel d'invasion d'eau saumâtre	98
4.7.1. Secteur nord	98
4.7.2. Secteur central	98
4.7.3. Secteur sud	98
5. Etat des connaissances hydrogéologiques	99
5.1. Aquifère des terrasses affleurantes	99
5.2. Aquifères des terrasses sous-flandriennes	99
5.3. Aquifère de l'Eocène moyen	100
5.3.1. Inventaire des sondages	100
5.3.2. Piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen	101
5.3.3. Comparaison du niveau piézométrique et du plan d'eau de l'estuaire	105
5.3.4. Hydrochimie	108
5.3.5. Particularités de l'invasion saline	109
6. Conclusions et perspectives - Programmation de la phase 2	112
6.1. Secteurs à risque potentiel d'invasion saline	112
6.1.1. Secteur nord: entre Phare de Richard et St-Yzans-de-Médoc	112
6.1.2. Secteur central: St-Estèphe-Pauillac (PK 58 à PK 52)	114
6.1.3. Secteur sud: à l'ouest de la Passe de Cussac (PK 36 à PK 38)	114
6.2. Période de risque accru	115
6.3. Programme de travaux de la phase 2	115
8. Bibliographie	116

Liste des figures

Fig. 1 - Carte de situation

Fig. 2 - Historique de la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen entre 1965 et 1976
(Source BRGM, 1995)

Fig. 3 - Historique de la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen entre 1987 et 1991
(Source BRGM, 1995)

Fig. 4 - Etat de la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen en 1995 (Source BRGM, 1996)

Fig. 5 - Représentation schématique d'un biseau salé selon le modèle de Ghijben-Herzberg

Fig. 6 - Représentation schématique d'un biseau salé avec zones de diffusions
dans un aquifère multicouches hétérogène

Fig. 7 - Diagraphie de conductivité dans un piézomètre de surveillance

Fig. 8 - Influence d'un ouvrage de captage sur la géométrie du biseau salé

Fig. 9 - Carte schématique de la zonation morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Gironde
(d'après Allen, 1972)

Fig. 10 - Courbes journalières des marées le long de l'estuaire de la Gironde
(source Port Autonome de Bordeaux)

Fig. 11 - Comparaison du marnage et des cotes altimétriques atteintes par le plan d'eau de
l'estuaire de la Gironde (source Port Autonome de Bordeaux)

Fig. 12 - Répartition de la turbidité près du fond pendant un cycle de marée
de vives-eaux pendant un étiage fluvial (Août 1965, d'après Allen, 1972)

Fig. 13 - Migration saisonnière du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Gironde en fonction
des points nodaux de la marée dynamique et de densité (d'après Allen et al., 1980)

Fig. 14 - Coupe lithostratigraphique synthétique du Tertiaire et du sommet du Crétacé
aux abords de l'estuaire de la Gironde

Fig. 15 - Coupe géologique 1 transversale à l'estuaire de la Gironde au niveau du Verdon
(PK 93)

Fig. 16 - Coupe géologique 2 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Soulac et Meschers
au niveau du PK 90

Fig. 17 - Coupe géologique 3 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Jau-Dignac et
Mortagne au niveau du PK 78,5

Fig. 18 - Coupe géologique 4 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Civrac et Camaillau au niveau du PK 70

Fig. 19 - Coupe géologique 5 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Christoly et Fontclair au niveau du PK 66

Fig. 20 - Coupe du sondage de St-Christoly (754- 3- 18)

Fig. 21 - Détails des coupes 3 et 4 au droit du chenal de grande navigation

Fig. 22 - Coupes de sondages géotechniques de reconnaissance du chenal au niveau des coupes 3 et 4 (Campagne ARMOR - PAB - 1969)

Fig. 23 - Coupe géologique 6 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Yzans de Médoc et St-Sorlin de Conac au niveau du PK 64

Fig. 24 - Coupe géologique 7 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Seurin de Cadourne et St-Bonnet au niveau du PK59

Fig. 25 - Coupe géologique 8 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Estèphe et St-Ciers sur Gironde au niveau du PK 54

Fig. 26 - Détails des coupes 6 et 8 au droit du chenal de grande navigation

Fig. 27 - Coupes de sondages géotechniques de reconnaissance du chenal au niveau des coupes 6 et 8 (Campagne ARMOR - PAB - 1969)

Fig. 28 - Coupe géologique 9 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Pauillac et Anglade au niveau du PK 47

Fig. 29 - Coupe du sondage de Pauillac (754-8-117)

Fig. 30 - Coupe géologique 10 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Pauillac et St-Androny au niveau du PK44,5

Fig. 31 - Coupe géologique 11 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Julien et St-Genies de Blaye au niveau du PK 42

Fig. 32 - Coupe géologique 12 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Fort-Médoc et Blaye au niveau du PK 39

Fig. 33 - Coupe du sondage de Cussac (778-4-32)

Fig. 34 - Coupe géologique 13 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Lamarque et Blaye au niveau du PK 37

Fig. 35 - Détails de la coupe 13 au droit du chenal de grande navigation et coupe de sondage géotechnique de reconnaissance du chenal

(Campagne ARMOR - PAB - 1969)

Fig. 36 - Coupe géologique 14 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Castelnau-Médoc et Roque-de-Thau au niveau du PK 31

Fig. 37 - Coupe géologique 15 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Avensan et Roque-Pigeon au niveau du PK 28

Fig. 38 - Coupe géologique 16 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Cantenac et Bourg sur Gironde au niveau du PK 25

Fig. 39 - Sondage électrique d'étalonnage 2 sur forage 730-6-4.

Fig. 40 - Sondage électrique d'étalonnage 10 sur forage 730-7-8.

Fig. 41 - Sondage électrique d'étalonnage 13 sur forage 754-3-17.

Fig. 42 - Sondage électrique d'étalonnage 15 sur forage 754-4-2.

Fig. 43 - Sondage électrique d'étalonnage 17 sur forage 754-4-1.

Fig. 44 - Sondage électrique d'étalonnage 25 sur forage 754-8-4.

Fig. 45 - Sondage électrique d'étalonnage 26 sur forage 754-8-116.

Fig. 46 - Sondage électrique d'étalonnage 28 sur forage 778-4-32.

Fig. 47 - Sondage électrique d'étalonnage 32 sur forage 779-1-6.

Fig. 48 - Coupe géologique du sondage de reconnaissance de Port-de-Goulée (commune de Jau-Dignac-Loirac - 730-6-66)

Fig. 49 a - Données récentes sur la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen autour de l'estuaire de la Gironde

Fig. 49 b - Données récentes sur la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen autour de l'estuaire de la Gironde (suite du tableau)

Fig. 50 - Carte piézométrique en Octobre 1996 de la nappe de l'Eocène moyen autour de l'estuaire de la Gironde

Fig. 51 - Comparaison du niveau piézométrique de la nappe de l'Eocène moyen en étiage par rapport aux variations du plan d'eau dans l'estuaire aval (PK 78,5 et PK 63)

Fig. 52 - Comparaison du niveau piézométrique de la nappe de l'Eocène moyen en étiage par rapport aux variations du plan d'eau dans l'estuaire amont (PK 49,4 et PK 34,9)

Fig. 53 - Répartition de la conductivité des eaux de la nappe de l'Eocène moyen

Fig. 54 - Répartition de la teneur en chlorures dans les eaux de la nappe de l'Eocène moyen

Fig. 55 - Carte des secteurs à risques potentiels d'invasion saline et implantation des piézomètres projetés

Annexe 1 - Carte des résistivités apparentes de la tranche 0 - 250 m de profondeur déterminées par la campagne géophysique CGG de 1969

Liste des planches

Planche 1 - Carte géologique du substratum de l'estuaire de la Gironde en écorché sous les terrains quaternaires

Planche 2 - Epaisseur estimée des dépôts holocènes imperméables et semi-perméables

Planche 3 - Carte de situation des sondages électriques

Planche 4 - Coupe profondeur de la zone nord

Planche 5 - Coupe profondeur de la zone sud

1. Introduction

1.1. CADRE GENERAL DU PROJET

L'opération sectorielle sur les éventuelles *Relations entre l'Estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène moyen* s'intègre dans un important programme de Gestion des nappes d'eau souterraine de la Région Aquitaine. Par financement sur crédits publics sur plusieurs années, la Région Aquitaine, l'Agence de l'eau Adour-Garonne et le Ministère de l'Industrie ont en effet décidé :

- d'acquérir une meilleure connaissance des nappes d'eaux souterraines,
- de mettre en place une surveillance de ces nappes par des installations de réseaux de suivi et d'alerte concernant les niveaux et la qualité des eaux,
- d'élaborer un système d'information et de gestion des eaux souterraines
- d'aboutir à une gestion quantitative par évaluation des volumes d'eaux utilisables.
- de réaliser des opérations sectorielles

Cette opération particulière est liée aux problèmes d'alimentation en eau des sites urbains et industriels de l'agglomération bordelaise et des zones portuaires de Bassens, de la presqu'île du Bec d'Ambès, de Pauillac et de Blaye, qui extraient l'essentiel des ressources de la nappe de l'Eocène moyen (fig. 1). Il a été ainsi décidé de parfaire les connaissances là où elles sont insuffisantes, notamment pour étudier des zones particulièrement sensibles. Lors de cette première année a donc été entreprise l'amélioration des connaissances géologiques sur les relations éventuelles entre l'estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène moyen.

Fortement surexploitée, cette nappe qui produit la moitié des ressources en eau potable du département de la Gironde, notamment du Médoc, verrait sa qualité du gisement mise en péril par des risques d'invasion d'eau saumâtre provenant de l'estuaire. En effet, l'exutoire principal, peut-être unique, de la nappe de l'Eocène moyen est situé dans l'Estuaire de la Gironde.

Si les conditions géologiques et hydrogéologiques de gisement sont plus ou moins connues, les possibilités d'échange entre les eaux douces de la nappe et les eaux saumâtres de l'estuaire ne sont par contre pas connues. Sous Bordeaux la pression a chuté de plus de 50 m dans un vaste cône de dépression, **mais on ne sait pas s'il y a un biseau salé en rive gauche médocaine et si celui-ci progresse**. L'avenir des prélèvements en eau souterraine de la zone bordelaise et les choix qui devront être pris dépendraient de son existence et de sa progression.

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine
Relations entre l'estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène

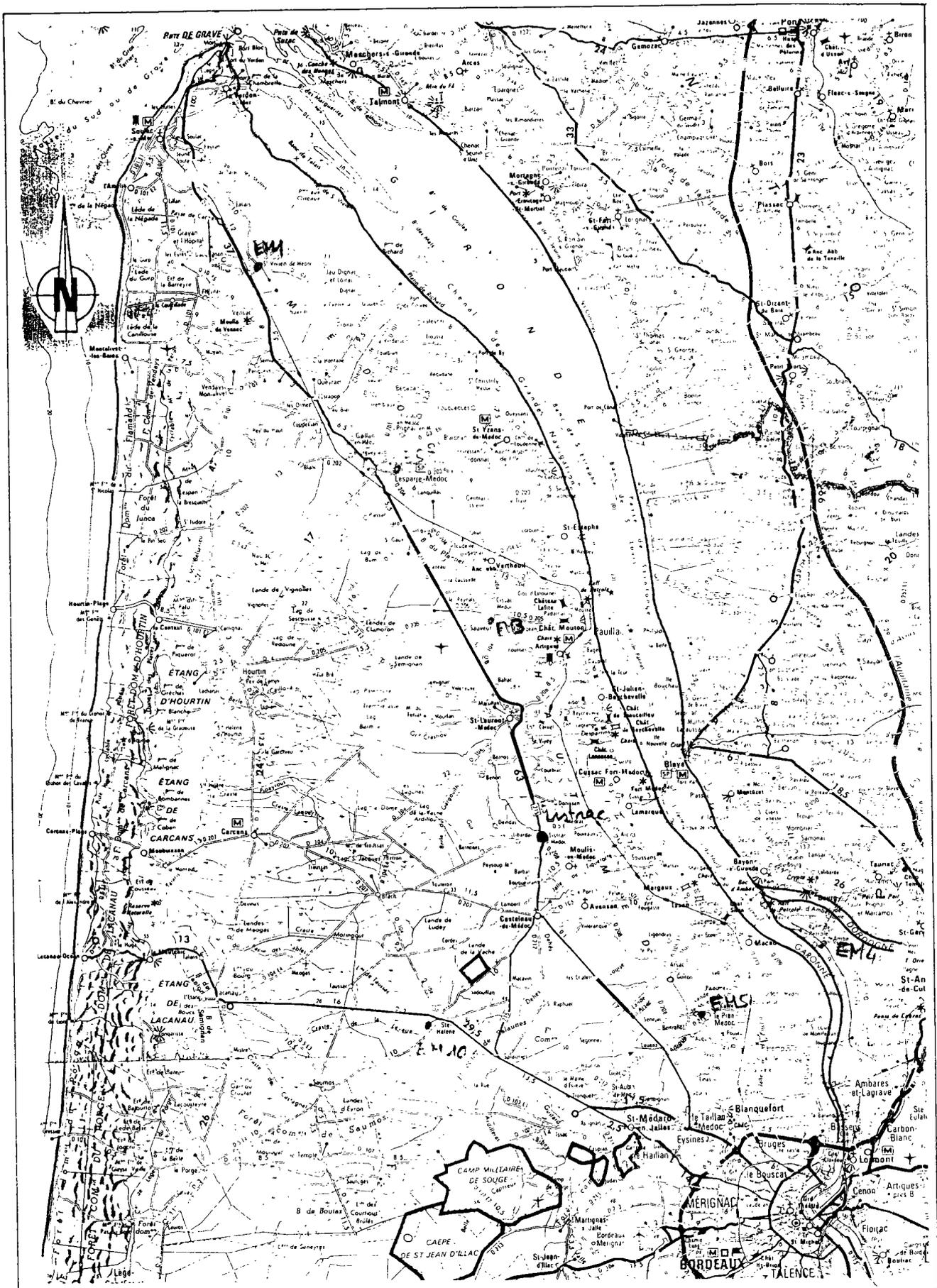


Fig. 1 - Carte de situation

1.2. PROBLEME POSE ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Depuis la fin du siècle dernier, l'exploitation intensive de la nappe captive éocène en Gironde et plus particulièrement sous Bordeaux a entraîné une chute progressive de la piézométrie, qui est devenue très sensible dès la fin des années soixante et dramatique au début des années quatre vingt dix. En effet, alors que le niveau piézométrique était encore situé largement au dessus du sol avant la dernière guerre, rendant les forages anciens jaillissants, la pression s'est localement abaissée à -10 NGF entre 1975 et 1985, puis a brutalement chuté à -35 NGF en 1991 en piézométrie, ce qui correspond à - 80 NGF environ en dynamique au niveau de certains forages (fig. 2 et 3). La cause de cette dépression est l'intensité de l'exploitation de la nappe captive qui est passée de 25,2 millions de m³/an en 1965 à 58 millions de m³/an en 1991. Le centre dépressionnaire a peu à peu migré du nord de Bordeaux vers le sud en fonction de la localisation des pompages actuels et de l'arrêt de certaines industries au Bec d'Ambès et à Pauillac.

Actuellement, les prélèvements se sont stabilisés autour de 53 millions de m³/an et l'emprise de ce cône centré au sud de l'agglomération bordelaise, avec un niveau à -25 NGF est très vaste et s'étend largement sous le secteur du Bec d'Ambès où des niveaux compris entre +1 et 0 NGF sont encore mesurés (fig. 4). Une crête piézométrique culminant vers +5 NGF existe entre Blaye, Bourg sur Gironde et Lamarque, puis les pressions de la nappe éocène s'abaissent à nouveau entre +2 et 0 NGF sous l'estuaire de la Gironde en direction du nord. Or, il est connu que la bande d'affleurement des terrains tertiaires contenant le réservoir éocène passe sous l'estuaire de la Gironde et depuis une trentaine d'années, on sait par ailleurs que quelques pointements rocheux ont été repérés au large de la rive gauche en contact direct avec les eaux de l'estuaire.

Un réel danger d'invasion d'une partie du réservoir éocène par les eaux saumâtres peut donc surgir si l'abaissement piézométrique devenait trop fort dans le secteur nord du département de la Gironde.

Sachant qu'une pollution saline dans un réservoir d'eau douce est irréversible, car la dynamique est trop faible pour l'évacuer, compte tenu de la densité des eaux, l'objectif principal du projet est de prévenir une invasion trop importante de la nappe éocène en mettant en place un réseau de surveillance et d'alerte concernant les niveaux de la nappe et la qualité des eaux.

Afin de disposer d'un tel outil permettant de régulariser les prélèvements nécessaires au développement des activités humaines, sans détériorer les qualités de la nappe éocène, des objectifs préliminaires ont été fixés, concernant l'amélioration des connaissances géologiques (structuration et géométrie des séries tertiaires, répartition des faciès quaternaires), l'extension des connaissances hydrogéologiques (précision accrue des surfaces piézométriques, amélioration de la connaissance physico-chimique des eaux de l'Eocène moyen). L'ensemble de ces études préliminaires devra servir à optimiser l'implantation des éléments d'un réseau de surveillance en délimitant les secteurs les plus sensibles et les zones à risque potentiel d'invasion saline.

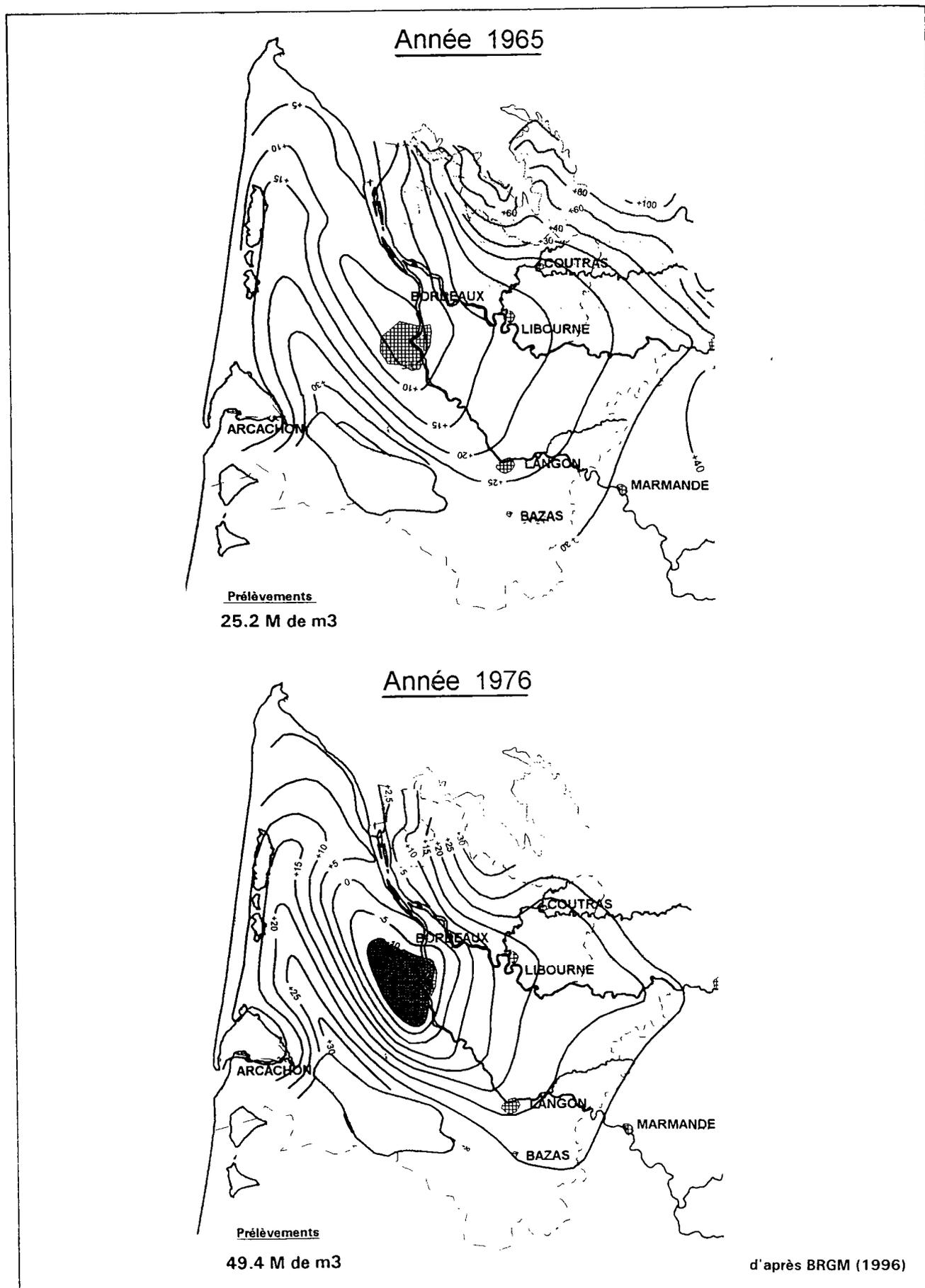


Fig. 2 - Historique de la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen entre 1965 et 1976 (Source BRGM, 1995)

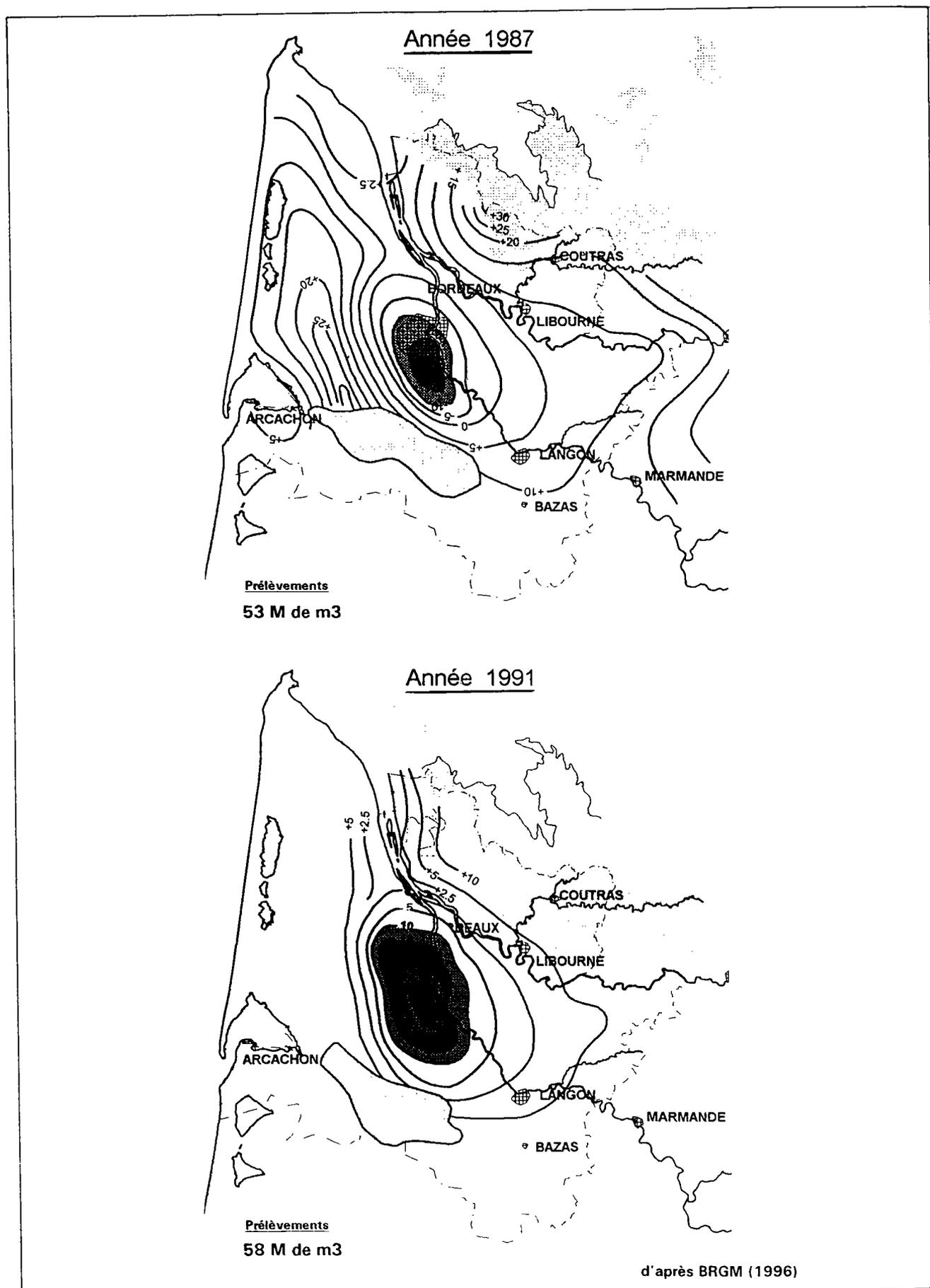


Fig. 3 - Historique de la piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen entre 1987 et 1991 (Source BRGM, 1995)

1.3. PROGRAMMATION DES ETUDES ET TRAVAUX

Les opérations du projet se dérouleront sur plusieurs années, chaque phase ne débutant que lorsque les résultats de la phase précédente sont connus. Les opérations ont été programmées de la façon suivante :

PHASE 1 : Amélioration des connaissances géologiques et hydrogéologiques sur l'exutoire éventuel de la nappe de l'Eocène, aboutissant à la localisation des secteurs à risque d'invasion. Cette phase, à présent terminée, a permis de délimiter les secteurs d'implantation du réseau de piézomètres de surveillance.

PHASE 2 : Réalisation de piézomètres et identification hydrogéologique du gisement, mesure des pressions et de la qualité des eaux, diagraphies physico-chimiques (A réaliser en 1997 et 1998).

PHASE 3 : Mise en place d'un réseau de suivi et d'alerte, actions complémentaires, modélisation, télésuivis. Synthèse des résultats, protocoles d'action. (A réaliser à partir de 1998).

Le présent rapport fait état des résultats obtenus à l'issue de la phase 1 et présentera donc principalement une synthèse géologique de la région de l'estuaire de la Gironde et un état des connaissances hydrogéologiques sur la nappe de l'Eocène de cette région.

2. Problème du biseau salé

Dans les secteurs proches des côtes, les nappes d'eau douce s'écoulent vers la mer et arrivent en contact avec l'eau marine salée ou saumâtre qui envahit une partie du réservoir aquifère dans la frange littorale.

A cause de leur différence de densité, ces deux types d'eaux se mélangent très mal et l'intrusion d'eau salée plus dense se situe en dessous de l'eau douce en présentant la forme d'un dièdre le long du littoral, qui plonge vers l'intérieur des terres. En coupe orthogonale au trait de côte, l'eau salée occupe la forme d'un triangle : c'est ce qu'on appelle de façon habituelle **le biseau salé** (fig. 5).

Généralement la présence du biseau salé marin dans les nappes d'eaux souterraines limitent les possibilités d'exploitation de celles-ci en bordure de la côte. Une surveillance continue de la nappe est donc absolument indispensable pour éviter la dégradation de la qualité des eaux prélevées. Il faut en effet largement anticiper sur l'évolution du biseau salé.

En effet, lorsque la salinité de l'eau commence à augmenter dans un forage, il est en général déjà trop tard. Le phénomène va souvent empirer et le retour à la situation normale risque d'être très long; même après l'arrêt du pompage, on a observé dans certains cas, la quasi irréversibilité du phénomène de salinisation, car seuls les phénomènes de diffusion et de dispersion permettent un très lent retour à l'état initial.

Il est donc nécessaire, pour optimiser toute exploitation d'eaux souterraines littorales, de pouvoir localiser le contact eau douce/eau salée et de pouvoir suivre ou estimer son évolution, compte tenu des prélèvements actuels et à venir, de manière à prévenir tout pompage d'eau salée.

2.1. NOTIONS DE BASE SUR LES BISEAUX SALES

La position de l'interface *eau douce/eau salée* (interface Ed / Es) est conditionnée par les lois d'équilibre hydrostatique entre ces eaux de densités différentes et par les phénomènes de diffusion (Daum *et al.*, 1996).

2.1.1. Nappe libre

Cet équilibre hydrostatique correspond au modèle de Ghijben-Herzberg. Dans cette approche simplifiée l'eau douce et l'eau salée sont considérées comme deux fluides non miscibles, ce qui n'est pas totalement la réalité dans la nature; avec cette approximation, leur contact est donc supposé être représenté par une interface nette (fig. 5).

Sur une même horizontale, l'équilibre des pressions de l'eau douce et de l'eau salée répond à la formule :

$$H \times d_s = (H + h) \times d_d$$

dans laquelle d_s est la masse volumique de l'eau salée, d_d la masse volumique de l'eau douce, h la hauteur d'eau douce au dessus du niveau de la mer en un point et H la profondeur de l'interface E_d / E_s sous le niveau de la mer en ce même point.

En prenant 1 comme densité de l'eau douce, l'équation se simplifie en :

$$H = h / (d_s - 1)$$

La masse volumique de l'eau de mer est fonction de la salinité et pour une concentration équivalente de NaCl de 36 g/l (correspondant à la moyenne de salinité des océans et mers) elle est égale à 1,025. Pour cette concentration l'équation devient :

$$H = 40 h.$$

En pratique en tout point du réservoir côtier, l'interface E_d / E_s se situe donc sous le niveau de la mer à une profondeur égale à 40 fois le niveau piézométrique de la nappe d'eau douce au-dessus du niveau de la mer. Inversement une baisse de 1 mètre de la pression de la nappe fera remonter l'interface de 40 mètres.

Il faut remarquer que pour une eau de mer moins salée ce rapport augmente, ce qui est le cas dans les estuaires. Ainsi pour des eaux saumâtres à 16 g/l (densité : 1,008) et à 10 g/l (densité : 1,005) la profondeur de l'interface s'abaissera respectivement à 125 fois et 200 fois le niveau piézométrique.

Dans la réalité, l'écoulement de la nappe vers la côte nécessite d'introduire de légères corrections au modèle précédent, ce qui fait l'objet du modèle de Hubbert utilisant la formule de profondeur de l'interface :

$$H = (hd_d - h'd_s) / (d_s - d_d)$$

h et h' représentant respectivement la charge d'eau douce et la charge d'eau salée par rapport au niveau de la mer.

2.1.2. Nappe captive

Dans le cas d'une nappe captive, c'est le modèle de Glover qui s'appliquera, dont l'expression plus complexe nuance le cas précédent, car elle tient également compte de l'écoulement de la nappe vers la mer.

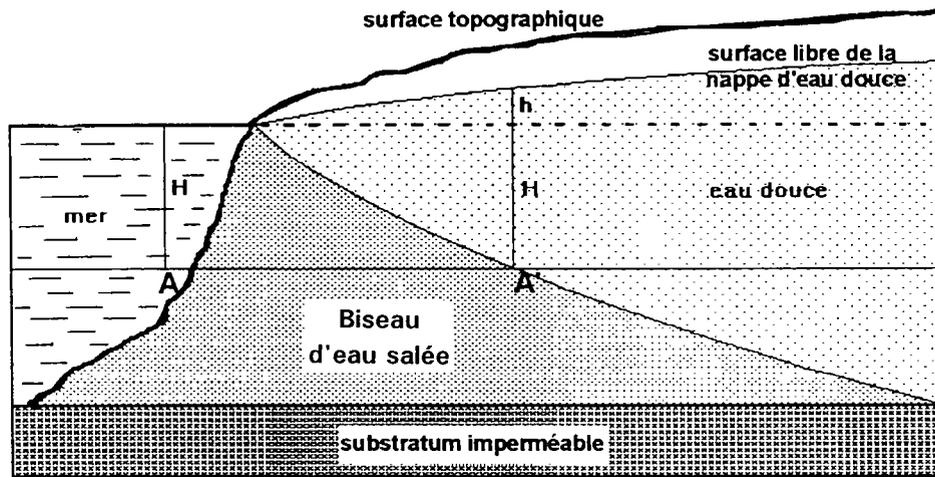


Fig. 5 - Représentation schématique d'un biseau salé selon le modèle de Ghijben-Herzberg

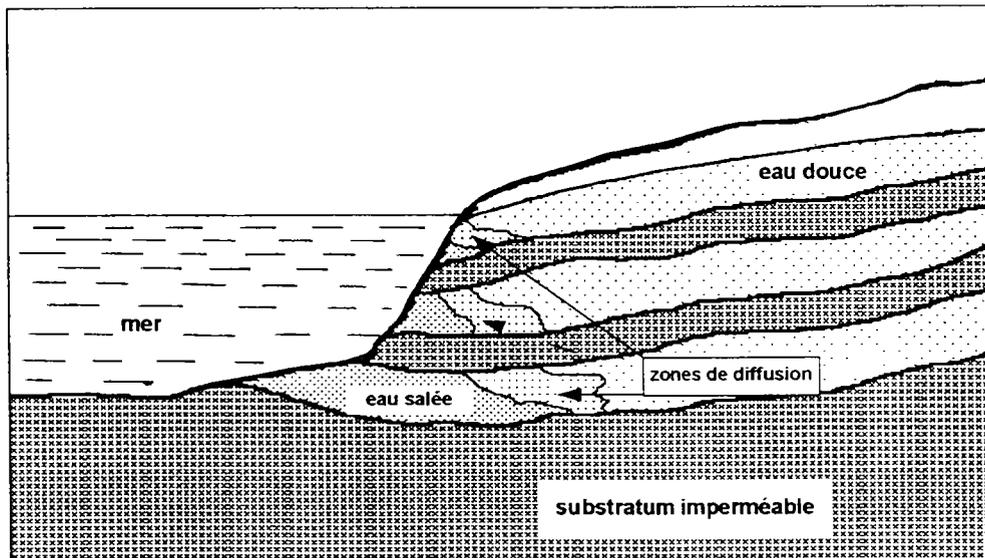


Fig. 6 - Représentation schématique d'un biseau salé avec zones de diffusion dans un aquifère multicouches hétérogène

2.1.3. Zone de diffusion

Par ailleurs, les modèles précédents prennent pour hypothèse l'absence de mélange entre l'eau douce et l'eau salée. Or, les deux fluides sont miscibles et il existe donc une zone de diffusion (ou zone de transition dans les sondages de surveillance) à salinité progressivement variable entre la salinité très faible de l'eau douce et la salinité plus forte de l'eau de mer ou estuarienne.

C'est pourquoi le modèle de Lusczynski qui prend ce phénomène en compte est d'application beaucoup plus complexe car il nécessite comme données initiales les valeurs de trois charges piézométriques différentes en un même point.

2.1.4. Aquifères multicouches

Quand des assises imperméables (ou très peu perméables) séparent les assises les plus perméables d'un réservoir, on parle communément d'un aquifère multicouches. Lorsqu'un tel aquifère arrive en bordure du littoral, l'interface théorique devrait se prolonger de façon régulière d'un niveau perméable à l'autre.

Mais les niveaux piézométriques peuvent être différents et les faciès lithologiques peuvent présenter des perméabilités variables, ce qui entraîne le plus souvent des géométries d'interface Ed/Es et de zone de diffusion plus complexes (fig. 6). Chacune des couches peut donc avoir une relation et une connexion hydraulique spécifique avec les eaux salées marines et présenter son interface propre d'un biseau salé plus ou moins pénétrant vers l'intérieur des terres ou comportant une zone de diffusion plus ou moins épaisse.

2.2. MISE EN EVIDENCE DE BISEAU SALE

En pratique dans de nombreux secteurs, la présence d'une zone de transition importante rend sans signification bien précise la détermination d'une interface virtuelle par les modèles de Ghijben-Herzberg, de Hubbert ou de Glover. Le calcul plus juste que permet le schéma de Lusczynski implique que l'on connaisse déjà par ailleurs la distribution des salinités ou des densités dans cette zone de transition.

Aussi le suivi de l'évolution du biseau salé par des seules mesures piézométriques ne donnera des informations relatives que dans de rares cas simples pour lesquels existe une bonne homogénéité des paramètres hydrodynamiques.

C'est pourquoi la mise en évidence de biseau salé se fait le plus souvent par approches géophysiques et/ou par prospections physico-chimiques.

2.2.1. Prospection géophysique

2.2.1.1. Méthode électrique

La résistivité électrique des terrains dépend de leur nature lithologique, mais aussi pour une large part, de leur teneur en eau et de la résistivité de cette eau.

La formule d'Archie rend compte de cette relation :

$$r_t = r_e \times a / \omega^m$$

dans laquelle

r_t : la résistivité du terrain

r_e : la résistivité de l'eau

ω : la porosité de la roche

a : le coefficient de tortuosité, variant de 0,5 à 2,2

m : le coefficient de cimentation, variant de 1,3 pour des formations meubles à 2,35 pour des roches consolidées.

Le rapport a / ω^m est appelé facteur de formation

La résistivité de l'eau est elle-même fonction de la concentration totale en sels dissous, de la composition chimique et de la température.

La conductivité (inverse de la résistivité) peut aussi se calculer en fonction des concentrations de différents sels dissous. La conductivité d'une solution ionique complexe est la somme des conductivités obtenues pour chaque ion.

Il existe plusieurs méthodes de prospection géophysique qui permettent de déterminer, à partir de la surface du sol, la résistivité des terrains en fonction de la profondeur. Pour un terrain de nature lithologique homogène, les variations de résistivité sont donc dues aux différences de résistivité de l'eau contenue et par conséquent aux différences de salinité de cette eau. Mais lorsque les terrains sont constitués de couches lithologiques variées, l'interprétation est plus délicate car il faut déjà connaître la structure et la nature de ces couches de manière à pouvoir éliminer à l'aide de la formule d'Archie la part de résistivité provenant du terrain lui-même.

La prospection géophysique électrique permet la réalisation de sondages électriques, informations ponctuelles renseignant sur les variations de résistivité en fonction de la profondeur ou de profils et cartes de résistivité indiquant les variations géographiques de la résistivité à une profondeur donnée.

Si l'on connaît le contexte géologique régional et en comparant avec les échelles de résistivités des roches, la localisation directe de biseau salé à partir des sondages

électriques est une méthode assez peu onéreuse et de mise en oeuvre facile. L'échelle des résistivités typiques est donnée dans le tableau ci-après:

NATURE LITHOLOGIQUE	RESISTIVITE (Ω. m)
- Quartzites	20 000
- Roches éruptives compactes	500 à 20 000
- Granites	300 à 15 000
- Grès	60 à 10 000
- Calcaires	100 à 5 000
- Alluvions, sables, graviers en zone non saturée - Schistes	50 à 1 000
- Roches éruptives altérées - Sables et graviers saturés d'eau douce	50 à 500
- Argile (eau douce)	10 à 100
- Marnes	0,5 à 100
- Sols argileux	10 à 20
- Argiles (eau salée)	1 à 10
- Sables et graviers saturés d'eau salée	0,5 à 5

Des calages d'interprétation sont nécessaires à proximité de forages existants dont les coupes lithologiques sont connues; il faut par ailleurs effectuer un nombre suffisant de sondages électriques et les interpréter en tenant compte des sondages électriques les plus proches.

La profondeur d'investigation est de l'ordre de 1/4 de la longueur maximum de la ligne d'émission dans le dispositif quadripolaire de Schlumberger.

2.2.1.2. Méthode électromagnétique

Le champ magnétique produit par un émetteur à courant alternatif, engendre des courants induits détectés dans un récepteur. La résistivité des terrains est calculée lors de l'interprétation. La profondeur d'investigation est en moyenne celle de la distance émetteur-récepteur.

2.2.1.3. Méthode magnéto-tellurique

La composante horizontale du champ tellurique (champ électrique terrestre) et la composante du champ magnétique perpendiculaire sont mesurées en fonction de fréquences variables. La résistivité apparente des terrains est calculée pour interpréter leurs résistivités réelles. Cette méthode permet de limiter la longueur des lignes électriques pour des prospections très profondes.

2.2.2. Diagraphies électriques

La mesure des paramètres physiques, réalisée directement dans les forages à l'aide de sondes appropriées, permet de visualiser sur une verticale les variations de ces paramètres en fonction de la profondeur : ces courbes sont appelées diagraphies (ou carottages géophysiques).

De nombreux paramètres physiques peuvent être mesurés (électriques, thermiques, soniques, radio-actifs), les paramètres électriques correspondant à la résistivité des terrains étant seulement évoqués ici.

En effet, les seules diagraphies qui présentent un intérêt dans la localisation immédiate du biseau salé sont les diagraphies électriques classiques, la diagraphie de résistivité par induction et celle de conductivité de l'eau.

2.2.2.1. Diagraphies classiques

Elles ont toutes pour but de déterminer la variation de la résistivité des **terrains autour du forage**, juste après la réalisation du sondage; après calculs, elles peuvent donc renseigner sur la salinité de l'eau contenue dans ces terrains.

Les principales sondes utilisées sont les sondes normales, la sonde latérale (utilisant un quadripôle) le latérolog (sept électrodes) et les micro-dispositifs, très focalisés car appliqués contre la paroi du forage, qui donnent la résistivité vraie des terrains encaissants.

En pratique, les diagraphies classiques ne présentent qu'un intérêt limité pour connaître l'extension du biseau salé car *une seule exécution* de ce type est possible à la fin de la réalisation du sondage. Il n'est donc *pas possible de suivre dans le temps* l'évolution du biseau salé avec ces techniques.

2.2.2.2. **Diagraphie par induction**

Egalement appelée inductolog, c'est la diagraphie qui présente le plus grand intérêt dans l'étude des biseaux salés car elle permet des *mesures périodiques* dans des piézomètres tubés et crépinés.

En effet, cette diagraphie présente l'avantage de pouvoir être effectuée même si le forage est équipé d'un tubage (ou d'une crépine) électriquement résistant (PVC par exemple), car la sonde crée un champ magnétique dans les terrains environnants. Les courants induits y engendrent un champ magnétique alternatif produisant un signal proportionnel à la résistivité des terrains.

Les sondes à induction peuvent être utilisées dans des forages tubés en 4", voire 3" comme c'est le cas du dispositif Romulus (diamètre 45 mm en standard, 36 mm en option) mis en oeuvre par le BRGM.

2.2.2.3. **Diagraphie en conductivité**

La **mesure directe** de la conductivité de **l'eau contenue dans le sondage** piézométrique est aussi habituellement très utilisée pour l'étude des biseaux salés littoraux (fig. 7).

Ne faisant intervenir que la conductivité de l'eau, cette diagraphie peut être réalisée en général dans tous les types de sondages crépinés (PVC ou métallique) ou non crépinés. Les sondes utilisées effectuent également la mesure simultanée de la température, ce qui permet la correction de la conductivité en fonction de la température.

La diagraphie de conductivité verticale nécessite cependant quelques contraintes pour représenter correctement la salinité des tranches d'eau supposées dans le sondage en équilibre ionique avec celles des eaux qui baignent le réservoir autour du sondage.

- tout d'abord le sondage doit être crépiné sur la puissance totale du réservoir.
- le réservoir doit être le plus homogène possible. En effet ce type de diagraphie ne donne pas de bons résultats dans le cas d'aquifère multicouches, à cause des différences de pressions hydrauliques existant entre les assises perméables, ce qui mélange les eaux dans toute la zone crépinée (dans le cas de charges hydrauliques très différentes).
- les mesures ne doivent être faites qu'après une longue période de repos pour obtenir l'équilibre des salinités.
- enfin la sonde doit être descendue très lentement pour ne pas brasser l'eau, les mesures étant faites à la descente.

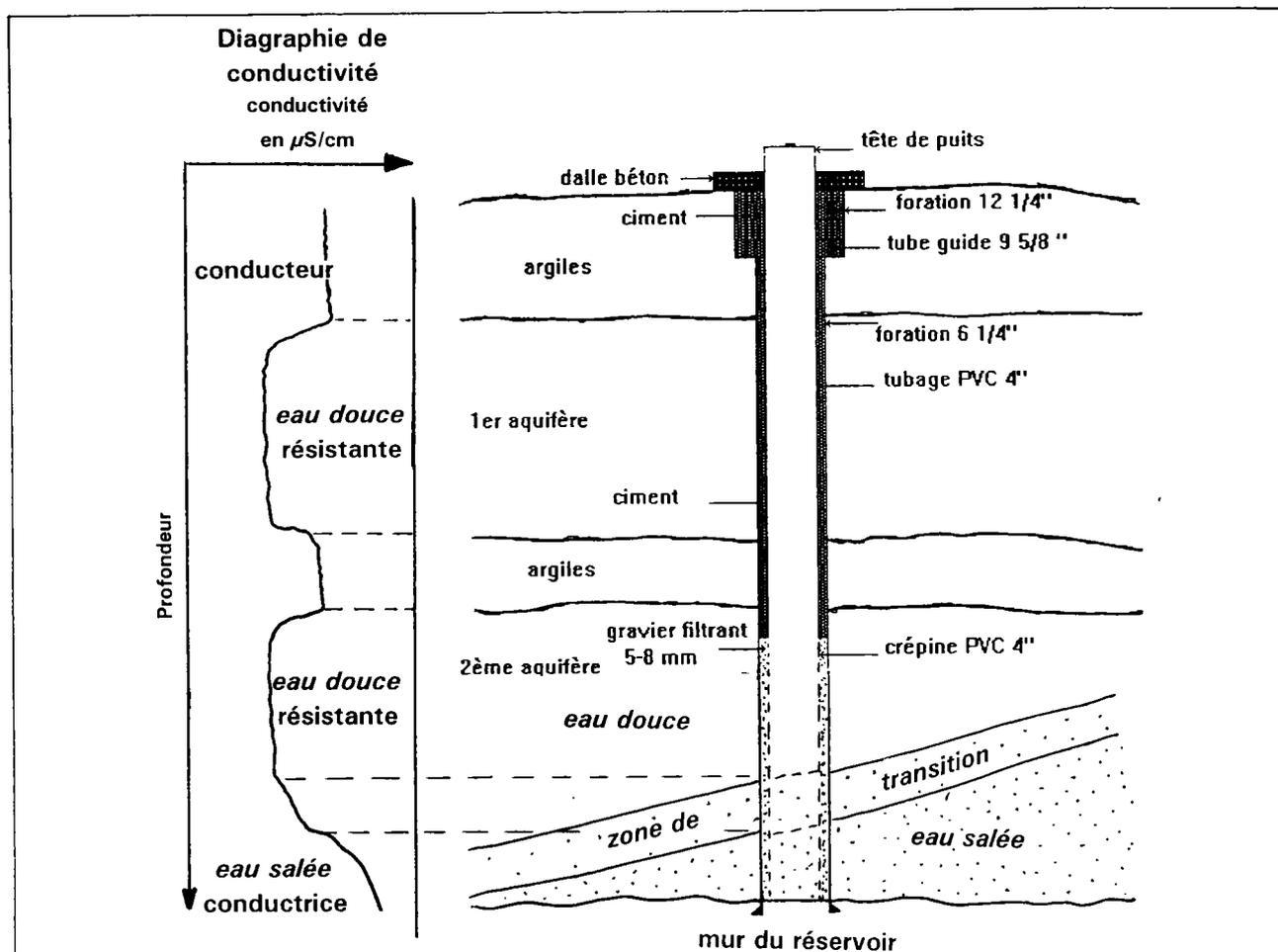


Fig. 7 - Diagraphie de conductivité dans un piézomètre de surveillance

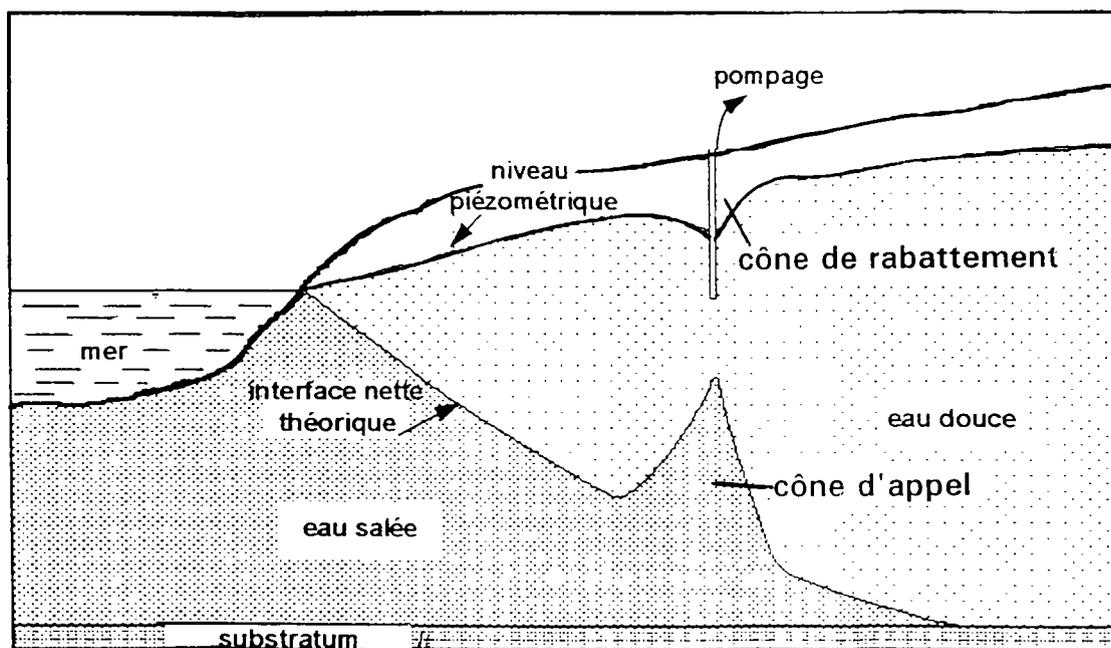


Fig. 8 - Influence d'un ouvrage de captage sur la géométrie du biseau salé

2.2.3. Analyses physico-chimiques

L'analyse physico-chimique en laboratoire d'échantillons d'eau est la méthode la plus exacte pour connaître la salinité d'une nappe aquifère.

La concentration totale en sels dissous est obtenue par le dosage séparé de chaque ion et par la pesée du résidu sec de l'échantillon chauffé à 118°C. Le pH et la résistivité sont aussi mesurés. Des analyses isotopiques associées contribuent également à déterminer l'origine de la salinité (eaux marines ou eaux connées).

Bien évidemment, la localisation du biseau salé à l'aide d'analyses chimiques n'est possible que si l'on dispose d'un réseau de sondages d'observation (piézomètres), sans pompage, dans lesquels on peut prélever des échantillons d'eau statique à différentes profondeurs, à l'aide d'échantillonneurs spéciaux.

La précision de la localisation du biseau salé et de la configuration de l'interface Ed/Es est fonction du nombre de piézomètres, de leur répartition spatiale et du nombre d'échantillons analysés.

Comme la méthode des profils verticaux de conductivité, celle des analyses physico-chimiques implique que la répartition en profondeur de la salinité de l'eau dans le forage soit la même que celle de l'eau contenue dans le terrain environnant (forage crépiné sur toute l'épaisseur de l'aquifère et aquifère homogène, non constitué de couches à niveaux piézométriques différents).

Par rapport aux diagraphies de conductivité ou de résistivité par induction, cette méthode est évidemment d'une mise en oeuvre plus lourde (échantillonnage, analyses).

2.3. INFLUENCE DES POMPAGES SUR LE BISEAU SALE

La profondeur du biseau salé est directement fonction du niveau piézométrique de la nappe, en particulier du niveau piézométrique de l'eau douce. L'exploitation par pompage dans la nappe influe donc largement sur la profondeur et la forme du biseau salé.

Ainsi dans le cas d'un biseau salé par **l'eau de mer** (densité 1,025), un rabattement de 5 m provoqué par le pompage se traduit à la verticale du sondage capté par une remontée de l'interface Ed/Es théorique de 200 m; en régime *permanent*, l'interface Ed/Es est donc théoriquement stabilisé suivant le schéma (fig. 8). De manière simplifiée, le **cône d'appel** provoqué par le pompage est *l'image* agrandie 40 fois du **cône de dépression** par rapport au niveau de la mer.

Dans le cas d'**eau saumâtre estuarienne** (densité 1,008 pour 16 g/l de salinité), le même rabattement provoquera un cône d'appel **de plus de 600 m de hauteur !**

En pratique, lorsque le niveau dans le puits exploité atteint le 0 NGF (niveau de la mer), l'interface théorique coïncide alors avec ce niveau et le puits pompe de l'eau de mer. De plus, en tenant compte de l'existence d'une zone de transition, comme c'est le cas dans la réalité, le puits peut aussi commencer à pomper de l'eau plus ou moins saumâtre de cette zone bien avant que son niveau dynamique n'atteigne le niveau de la mer.

A l'inverse dans le cas de surexploitation d'un forage, la réduction du pompage et le retour à un plus faible niveau d'exploitation ne sera généralement pas accompagné d'une descente inverse du niveau de l'interface. La salinité de la zone envahie par l'eau saumâtre diminuera, mais gardera très longtemps une salinité supérieure à celle qu'elle avait avant l'augmentation du pompage.

2.4. CONTROLE ET RESEAU D'ALERTE

En conclusion, l'implantation d'un réseau d'alerte nécessite d'abord la connaissance du contexte géologique et du système hydrogéologique considéré. Les contrôles doivent obligatoirement porter sur :

- L'évolution du **niveau piézométrique** de la nappe. Un **enregistrement continu** en un nombre minimum de points est indispensable. Ce suivi pourra être complété par des mesures manuelles dans d'autres forages exploités ou non.
- L'évolution de la **qualité physico-chimique** de l'eau. Le moyen le plus sûr du contrôle de la salinité est l'**enregistrement continu** soit de la **conductivité**, soit des **chlorures**. Ce contrôle sera complété par quelques analyses chimiques complètes effectuées de manière régulière.

En conséquence, il est indispensable de **mettre en place un réseau de piézomètres**, spécialement destinés à cette surveillance. Ces sondages, correctement équipés au droit de la totalité de l'aquifère, doivent être situés **entre les puits d'exploitation et le littoral** à une distance suffisamment éloignée des pompages pour qu'en cas d'alerte soit préservé un délai d'intervention suffisant sur ceux-ci (réduction ou arrêt des pompages), avant que l'invasion de salinité n'y parvienne et pour avoir la possibilité de stabiliser celle-ci.

Le suivi régulier de l'évolution des paramètres se fera par un ensemble de techniques diagaphiques et d'analyses chimiques choisies parmi celles décrites dans ce chapitre.

3. Description du milieu physique de l'estuaire de la Gironde

L'estuaire de la Gironde, que les habitants du Médoc appellent modestement "la Rivière", est l'estuaire commun qui résulte de la jonction des fleuves Garonne et Dordogne au niveau du Bec d'Ambès. Il s'étend à l'aval de la confluence sur une distance de 70 km environ jusqu'à la Pointe de Grave, où il débouche sur l'Océan Atlantique. Sa superficie de 450 km² environ, fait de lui le plus vaste estuaire d'Europe, ressemblant au nord à un vrai bras de mer (fig. 9).

Principal exutoire hydrographique du Bassin d'Aquitaine, il permet l'accès aux ports de Bordeaux et Libourne. Six sites portuaires principaux constituent entre le Verdon et l'agglomération bordelaise, le Port Autonome de Bordeaux (PAB) dont la vocation actuelle est tournée vers le commerce et l'industrie.

Le repérage géographique d'un point le long de l'estuaire de la Gironde correspond à la distance kilométrique depuis l'origine prise au Pont de Pierre à Bordeaux (PK 0), numéroté positivement vers l'aval et négativement vers l'amont. Sur la Dordogne, l'origine est au Pont de Pierre de Libourne (PK 0D). Les deux fleuves se rejoignent au Bec d'Ambès (PK 26 du système Garonne et PK 44D du système Dordogne).

Remarque Les cotes altimétriques citées dans cette étude seront données par rapport au 0 NGF (Nivellement général de la France), alors que les cotes bathymétriques de tous les éléments compris dans l'emprise de l'estuaire lui-même seront exprimées par rapport au zéro de l'étiage du lieu (référence à la carte hydrographique de 1992 du PAB, donnant la bathymétrie la plus récente publiée).

3.1. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE

L'estuaire sépare deux régions naturelles très différentes: la Saintonge et le Blayais/Bourgeais au nord-est, le Médoc au sud-ouest, dont les différences géomorphologiques rendent compte des variations géologiques.

3.1.1. Rive droite

La Saintonge est constituée de formations calcaires du Crétacé supérieur secondaire qui donnent un paysage très vallonné dans l'arrière pays, limité en rive droite de l'estuaire par des falaises bordées de marais et de plages sableuses. Ainsi depuis la zone d'embouchure près de St-Palais/Mer en passant par Royan, St-Georges et Meschers et jusqu'au PK 80 environ, s'élèvent des falaises vives de calcaires blanc-jaunâtres du Campanien supérieur, hautes de 10 à 35 m et modelées par de nombreuses échancrures (*conches*) qui abritent autant de plages de sable fin. Certaines falaises plongent directement dans les eaux profondes de l'estuaire comme à Meschers notamment.

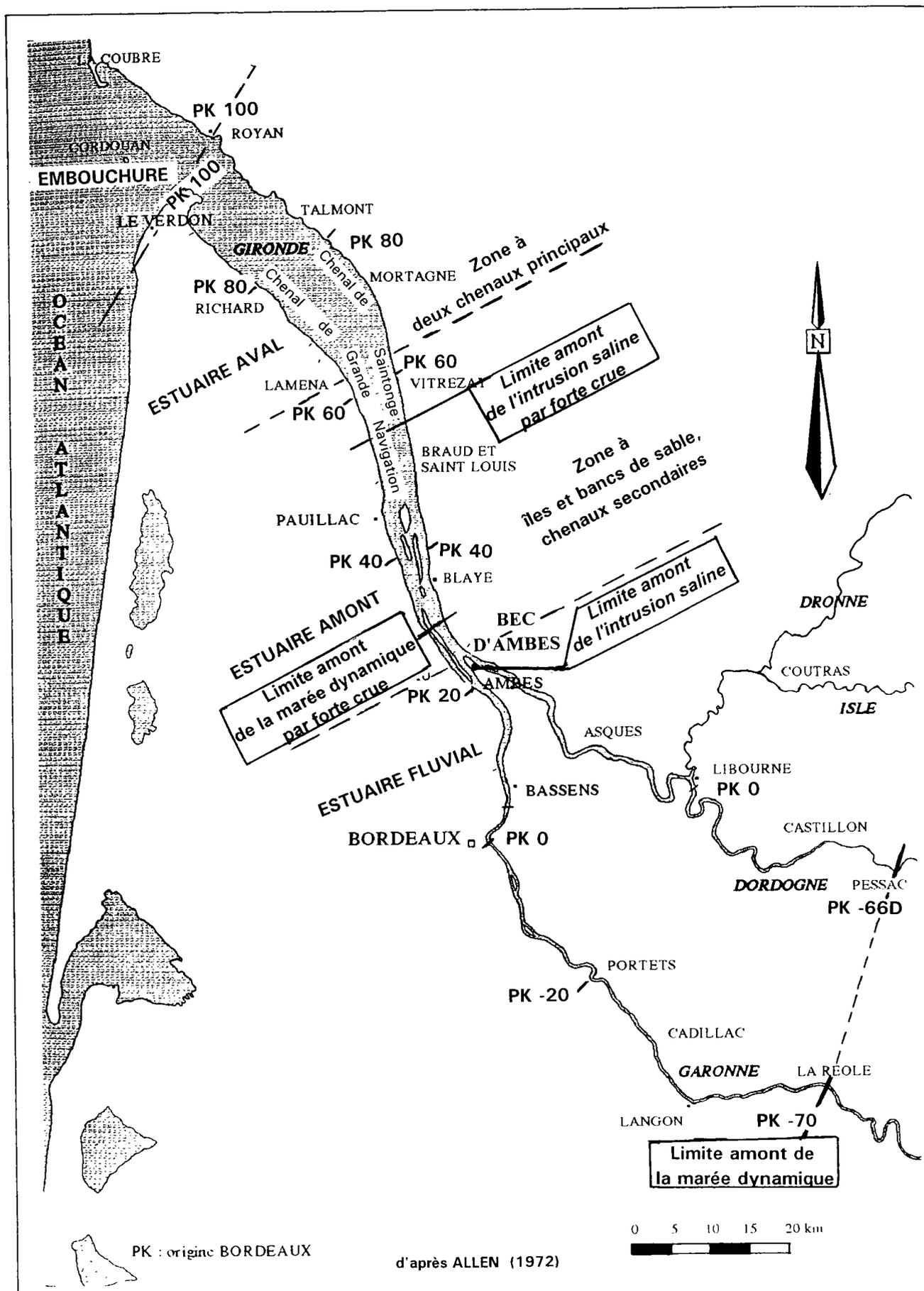


Fig. 9 - Carte schématique de la zonation morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Gironde (d'après Allen, 1972)

Mais en amont du PK 80 (les Monards) dans le secteur de Saint-Seurin d'Uzet et de Mortagne, les marais d'argile flandrienne commencent à apparaître et s'élargir vers le sud, séparant le fleuve d'une succession de petites falaises mortes plus ou moins rectilignes de calcaires crayeux campaniens ne dépassant pas 20 m le plus souvent. Les reliefs en arrière atteignent cependant des altitudes de +50 m environ (l'Echailier). Au sud du PK 72 à St-Romain/Gironde, les reliefs toujours élevés comme à la Tour de Beaumont (+59) ne sont plus bordés de falaises et le relief devient de plus en plus émoussé vers le sud jusqu'à St-Bonnet/Gironde, où les sables continentaux de l'Eocène moyen et inférieur (Tertiaire) recouvrent les calcaires crétacés.

Tout le long de ce secteur, les marais flandriens se sont progressivement élargis jusqu'à près de 5 km. C'est cette largeur qui sépare toujours la rive droite de l'estuaire d'avec les côteaux de St-Ciers/Gironde et de Braud et St-Louis.

Puis à l'amont du PK 50, les marais se resserrent à nouveau à moins de 2 km et la rive droite se rapproche peu à peu des côteaux calcaréo-argileux de l'Eocène du Blayais. La ville de Blaye bâtie sur un promontoire de calcaire grossier éocène est baignée par les eaux de l'estuaire, qui bordent les falaises oligocènes jusqu'en amont de Bourg/Gironde (PK 40D).

3.1.2. Rive gauche

Par contraste, la région à l'ouest de l'estuaire correspond à une côte très basse principalement constituée par les terrasses alluviales à galets et graviers, déposées au Pléistocène (Quaternaire). C'est la région naturelle du Médoc, où l'altitude des zones graveleuses dépasse rarement +15 NGF. Dans quelques secteurs affleurent cependant des témoins du substratum calcaréo-argileux éocène (Listrac au sud, entre Cissac-Médoc et Couquèques-Bégadan au centre, pour les principales zones).

Des érosions intra-Quaternaire ont évidé plus ou moins les terrasses alluviales, dont les lambeaux sont souvent séparés par des marais largement échanrés, notamment dans le nord du Médoc (Jau-Dignac-Loirac, Vensac, Queyrac). Comme sur la rive droite, un marais flandrien côtier borde la rive gauche mais sur une largeur bien moins importante (0,5 à 1 km) sauf à l'aval du PK 75 (Port de Goulée), point à partir duquel le marais s'élargit jusqu'à 3 km et parfois plus jusqu'au Verdon. Plus à l'ouest, les terrains tertiaires sont rapidement recouverts par le manteau des sables fluviatiles puis éoliens du Quaternaire ancien jusqu'à la côte atlantique bordée par les massifs des dunes littorales holocènes.

3.1.3. Estuaire proprement dit

La géométrie générale de l'estuaire lui-même présente une grande régularité dans l'évolution de sa forme. Il s'évase progressivement en s'approfondissant vers l'aval jusqu'à la Pointe de Grave (PK 96) où se produit un brusque rétrécissement limitant l'embouchure. C'est encore plus net si l'on intègre les zones de marais du Flandrien, car c'est au début de cette époque (10 000 ans BP environ) que la forme finale du creusement de l'estuaire a été atteint (planche 2). D'une largeur constante de 4 à 5 km environ jusqu'à Blaye (PK 38), il s'élargit rapidement jusqu'à 10 km environ au niveau de Braud et St-Louis (PK 50). Puis l'emprise maximale se maintient autour de 12 km jusqu'au PK 70; il s'élargit ensuite progressivement jusqu'à 14 km environ jusqu'au PK 85 (Talmont) et se rétrécit légèrement au nord jusqu'à Talais, pour s'élargir à nouveau à plus de 15 km entre Soulac et Royan.

Cette géométrie concerne bien évidemment "l'estuaire géologique" du début de la période holocène, époque à laquelle les terres du Verdon et de la Pointe de Grave n'existaient pas, le rocher tertiaire de St-Nicolas, le Platin de Grave et les battures de Cordouan formant des îles dans l'embouchure de l'époque. L'estuaire actuel (géographique) est plus étroit avec une largeur maximale de 10 km environ à marée haute à l'aval du PK 75. Son volume sous étiage marin (niveau des plus basses mers) n'a pas beaucoup varié depuis un siècle: de l'ordre de $2,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Les différences de caractéristiques hydrodynamiques et morphosédimentaires tout au long de l'estuaire permettent d'y distinguer plusieurs parties (fig 9 et planche 1).

3.1.3.1. Estuaire fluvial

Ce tronçon de l'estuaire ne fait pas partie de l'emprise de l'étude, car le réservoir de l'Eocène moyen y est partout protégé sous les couvertures imperméables de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène.

A l'amont, la partie fluviale de l'estuaire s'étend depuis la limite amont de la pénétration de la marée dynamique (la Réole sur la Garonne et Pessac / Dordogne) jusqu'au Bec d'Ambès (des PK -70 et PK -66D au PK 25).

Dans ce premier tronçon, la Garonne et la Dordogne présentent la morphologie typique des rivières à méandres dont les principales caractéristiques sont :

- un chenal unique sinuant entre des barres de méandres et des rives concaves,
- la rareté d'îles alluviales et de bancs longitudinaux,
- l'absence presque totale de zones intertidales.

A la confluence, le Bec d'Ambès s'est constitué par un engraissement de marais protégés par d'anciens bourrelets alluviaux de la Garonne et de la Dordogne.

3.1.3.2. Estuaire amont

Ce tronçon par lequel commence la partie vraiment estuarienne s'étend du Bec d'Ambès jusqu'au droit de St-Yzans de Médoc (Laména) sur une distance de 37 km entre le PK 25 et le PK 62 environ. Cette partie de l'estuaire présente toutes les caractéristiques d'un cours à chenaux anastomosés séparés par de nombreux reliefs longitudinaux plus ou moins émergents.

L'écoulement des eaux s'effectue par deux chenaux principaux : le chenal du Médoc ou chenal de grande navigation (chenal de GN) en rive gauche et le chenal de Blaye qui se prolonge par le chenal de Saintonge en rive droite.

Le chenal de GN, principale voie d'accès aux installations portuaires du Bec d'Ambès, de Bassens et de Bordeaux-ville longe la rive droite de la Garonne au Bec d'Ambès, la rive droite de l'île Cazeau et de l'île Verte pour rejoindre la rive gauche de l'estuaire au niveau de Fort-Médoc (PK 37 - Passe de Cussac). Ce chenal se tient à 500 m environ de la rive jusqu'à Saint-Christoly (PK 65) pour s'en éloigner progressivement dans l'estuaire aval (PK 31 à PK 36). Les profondeurs moyennes de ce chenal sont de l'ordre de -7,50 m, devenant localement plus fortes (-10 à -12 m) dans des fosses le long de l'île Verte et à Pauillac (PK 49 à PK 52).

Le chenal de Blaye utilisé par les navires desservant ce petit port est moins important et moins profond; il débute au PK 30 (passe de Roque de Thau) et atteint un maximum de profondeur (-10 m) à Blaye. A l'aval du PK 50, les profondeurs diminuent rapidement à 4 m environ, mais déjà entre les PK 40 et 44, le chenal fait place à une zone de hauts fonds (-3 m à -4 m) entre la rive droite et l'île Bouchaud.

La caractéristique morphosédimentaire principale de cette section de l'estuaire est la présence d'îles allongées et de haut fonds qui s'étirent entre le PK 22 et le PK 62 et délimitent des chenaux secondaires entre eux.

Les principales îles et îlots culminant à +3 ou +4 NGF sont de l'amont vers l'aval :

- l'ensemble coalescent des îles Cazeau, Macau, du Nord et Verte, reliées entre elles depuis le PK 22 jusqu'au PK 35,
- l'île Pâté, au droit de Blaye,
- l'île Sans Pain (ou île Nouvelle) liée à l'île Bouchaud,
- l'île de Patiras (ou île Philippe) devant Pauillac,

- le vasard de Beychevelle devant St-Julien,
- l'îlot de Trompeloup, un peu plus à l'aval.

De nombreux bancs de sables ou des hauts fonds vaseux longitudinaux compliquent la morphologie sédimentaire de cette partie de l'estuaire. De l'amont vers l'aval, ce sont :

- le banc de Plassac (culminant à +2,5 m au PK 34),
- le banc du Pâté (+2,5 m formé d'une série de lobes bordant à l'ouest le chenal de GN et à l'est le chenal de Blaye),
- le banc de Blaye (dans le chenal de Saintonge à l'aval de Blaye),
- le banc de Trompeloup (prolongement aval de l'îlot de Trompeloup),
- le banc de Saint-Louis (culminant à +1,8 m et prolongeant vers l'aval sur 2 km l'île de Patiras),
- le banc de Saint-Estèphe (devant Saint-Seurin de Cadourne (+2,3 m)).

Toutes ces îles et bancs délimitent entre eux des chenaux secondaires dont les profondeurs peuvent atteindre généralement 3 à 4 m et même comprendre des fosses localisées (-6 à -8 m autour de l'île Paté, -6 m entre l'île de Patiras et le Vasard de Beychevelle).

3.1.3.3. Estuaire aval (ou bas-estuaire)

A partir du PK 62, la morphologie de l'estuaire se simplifie beaucoup tout en s'élargissant à 9 km environ entre les cotes 0 des deux rives. Très peu de hauts-fonds existent dans le bas-estuaire. Ce sont devant Jau-Dignac et Valeyrac le platin de Richard, le banc des Mets et la longue digue de Valeyrac (construite en graviers en 1924 et 1928).

Plus au nord-ouest, existent les étroites barres longitudinales aval : le banc de Talais, le banc de St-Vivien, le banc des Marguerites et le banc de St-Georges. Le chenal de GN qui longeait la rive gauche jusqu'au PK 65 (St-Christoly - Passe de Laména) s'en éloigne progressivement jusqu'à plus de 4 km au niveau du banc de Talais (PK 87) pour se diriger tout droit vers la Pointe de la Chambrette (le Verdon) au PK 92,5. Sa profondeur reste identique (-7 à -8 m) jusqu'au PK 81 à l'aval du phare de Richard.

Le prolongement du chenal de Saintonge s'estompe à l'aval du PK 62 et à l'est de la digue de Valeyrac s'étend une vaste zone de haut-fonds aux profondeurs très faibles comprises entre -3 m et -4 m.

A l'aval du PK 75, les profondeurs augmentent à nouveau progressivement pour atteindre -12 m entre les bancs de Talais et des Marguerites et -16 m devant Talmont. Enfin à l'aval du PK 89 (Meschers) les fonds deviennent très importants (-20 m devant le Pointe de la Chambrette et devant Meschers) et dépassent -30 m entre la Pointe de Grave et le banc de St-Georges, dans la zone où les deux chenaux se rejoignent.

3.1.3.4. Embouchure de la Gironde

A l'aval de Royan (PK 100), l'estuaire s'élargit jusqu'à 15 km, en faisant un coude brutal vers l'ouest, entre la Pointe de Grave et la Pointe de la Coubre. La zone d'embouchure est complexe, car les hauts-fonds rocheux des Battures de Cordouan et le secteur gravelo-sableux du Platin de Grave, des bancs du Gros Terrier et du Chevrier, témoins d'alluvions pleistocènes, créent une morphologie de passes multiples et changeantes.

Le chenal principal (de grande navigation) longe la rive gauche jusqu'au Banc de la Coubre qui le contraint à tourner fortement vers l'ouest. Les fonds y dépassent toujours 20 m, sauf au niveau du seuil formé par la banc du Matelier (-14 m), limite occidentale et avale du domaine estuarien. Au sud de Cordouan, la Passe du sud est peu profonde et plus sinueuse (-7 m en moyenne, -14 m au maximum devant la Pointe de Grave).

3.1.4. Evolution morphologique actuelle

Ce sont les modifications hydrodynamiques liées aux variations de débit des fleuves et donc des vitesses des courants, en relation avec les changements climatiques régionaux et locaux, qui engendrent les évolutions morphologiques des estuaires, avec en particulier les changements de localisation des phénomènes d'érosion-sédimentation.

Pour l'estuaire de la Gironde, le caractère le plus marqué de son évolution récente est, d'après les données du PAB, le comblement progressif du chenal de Saintonge (rive droite du PK 50 au PK 85) et la stabilité ou l'approfondissement du chenal de GN (rive gauche). Depuis le siècle dernier, les diverses digues et les travaux de calibrage-dragage pour améliorer ou maintenir la profondeur du chenal de GN ont souvent favorisé cette évolution naturelle.

Ainsi la surface des îles ne semble pas avoir beaucoup changé depuis le 19ème siècle, mais les bancs sableux ont tendance à s'engraisser, ce qui contribue à relier les îles entre elles dans l'estuaire amont (ensembles de l'île Cazeau à l'île Verte, de l'île Nouvelle à l'île Bouchaud).

Les bancs sableux isolés migrent généralement vers l'aval (Crémer, 1975). Ainsi le banc de St-Estèphe par exemple, actuellement allongé sur 9 km pour une cote à +2,5 NGF, s'est déplacé en 120 ans (1874-1992) depuis le PK 50, juste à l'aval de l'îlot de Trompeloup, jusqu'au PK 58, soit une migration de 66 m par an en moyenne; dans le même temps, un nouveau banc s'est créé autour de Trompeloup. Par contre, le banc de St-Louis ne s'est presque pas déplacé (avancée jusqu'en 1940, puis recul jusqu'à nos

jour). Des relevés bathymétriques récents du PAB révèlent que pendant ces quatre dernières années, le banc de St-Estèphe a migré vers l'aval de 2 km environ, soit 500 m par an, ce qui nécessite les importants travaux de dragage de la passe de Laména.

Dans l'estuaire aval, les bancs sableux migrent toujours. Sur les deux rives, les slikkes vaseuses tendent à s'engraisser régulièrement par floculation et sédimentation de la crème de vase.

3.2. HYDRODYNAMIQUE DE L'ESTUAIRE

Les domaines estuariens, zones de transition entre le domaine fluvial et le domaine océanique, sont le siège de phénomènes hydrodynamiques complexes dont les principaux facteurs d'influence sont liés aux variations des débits des fleuves, aux caractéristiques des marées locales, aux paramètres physicochimiques (température et salinité). Les principales caractéristiques de l'estuaire de la Gironde seront mentionnées dans ce paragraphe.

3.2.1. Débits fluviaux

Ils ont été estimés par une moyenne calculée sur un siècle environ à partir des données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG, 1994).

- **Garonne** - Ce fleuve long de 478 km et drainant un bassin versant de 57 000 km² environ a un débit liquide moyen de 647 m³/s, et un débit solide estimé à 1,7.10⁶ tonnes par an de sédiments fins.

- **Dordogne** - L'autre fleuve qui alimente l'estuaire, long de 484 km, ne draine qu'un bassin versant de 24 000 km²; son débit liquide moyen est de 342 m³/s et son débit solide a été estimé à 0,5.10⁶ tonnes/an.

Pour des débits voisins de 350 m³/s, la Dordogne transporte deux fois moins de suspensions que la Garonne au même débit; par contre, cette tendance s'estompe quand les débits augmentent lors des crues pour disparaître vers 1 200 m³/s.

- **Gironde** - C'est donc un débit liquide moyen total de près de 1 000 m³/s qui arrive à l'amont de l'estuaire avec une charge de matières en suspension de plus de 2 millions de tonnes/an.

Les variations de ces apports solides varient fortement entre 1 et 7 millions de tonnes/an, modifiant sensiblement les équilibres sédimentaires.

D'après l'AEAG (1994), le régime hydrologique est caractérisé par des **crues d'hiver** avec un maximum moyen **en février** de **1 620 m³/s** et des **étiages en août-septembre** (minimum 175 m³/s en 1949). La variabilité interannuelle est importante, le mois de

décembre apparaissant comme le **plus variable** (4 191 m³/s en 1965 et 318 m³/s en 1985).

L'analyse des écarts au débit moyen depuis 1898 permet de faire apparaître des années sèches et des années humides avec une succession de périodes variant de 8 à 13 ans. La variation des débits moyens annuels est comprise entre 550 m³/s et 1 300 m³/s (débits extrêmes exclus).

3.2.2. Marée

3.2.2.1. Caractéristiques

- Durée

Dans le golfe de Gascogne la marée, de type semi-diurne, a une période de 12 h 25 mn. Alors que la courbe de marée est parfaitement symétrique à l'embouchure de la Gironde, elle se déforme progressivement, la dissymétrie augmentant avec la position d'observation de plus en plus en amont dans l'estuaire (fig. 10). Depuis l'embouchure l'onde de marée met 2 h 15 mn environ pour atteindre Bordeaux lors d'une marée de coefficient moyen de 70.

En pratique, cela se traduit par un raidissement de la courbe de marée avec une beaucoup plus courte durée du flot que du jusant, ce qui provoque un *mascaret* en amont de Bordeaux en étiage et en grande vive-eau.

Ainsi dans l'estuaire aval au marégraphe de Laména (PK 63), le flot dure 5 h 20 mn et le jusant 7 h 05 mn, mais au début de l'estuaire amont (marégraphe de l'île Verte - PK 35) le flot ne dure plus que 4 h 40 mn pour un jusant de 7 h 45 mn. Ces durées sont données pour le coefficient 100, mais en mortes-eaux la dissymétrie a tendance à diminuer (source PAB, 1992).

- Marnage

La limite d'action de la marée dynamique se situe sur la Garonne et sur la Dordogne à environ 160 km de la Pointe de Grave (par fortes crues, cette limite ne se situe qu'à 70 km de l'embouchure). Le marnage est très variable, en fonction du lieu d'observation et du coefficient de marée (fig. 11).

En période de **vives eaux**, le marnage est important et assez constant pour les systèmes Gironde-Garonne jusqu'à 120 ou 130 km de l'embouchure. Mais sur la Dordogne, le marnage décroît très rapidement vers l'amont dès le Bec d'Ambès. Ainsi, pour le coefficient 100, il atteint 4,50 m à l'embouchure, 4,80 m près de St-Christoly (PK 63) et 4,90 m devant Blaye (PK 37). A l'amont du Bec d'Ambès, alors qu'il devrait diminuer, le marnage reste important (5,40 m) par suite du fort rétrécissement de la section du cours de la Garonne, par rapport à celle de la Gironde.

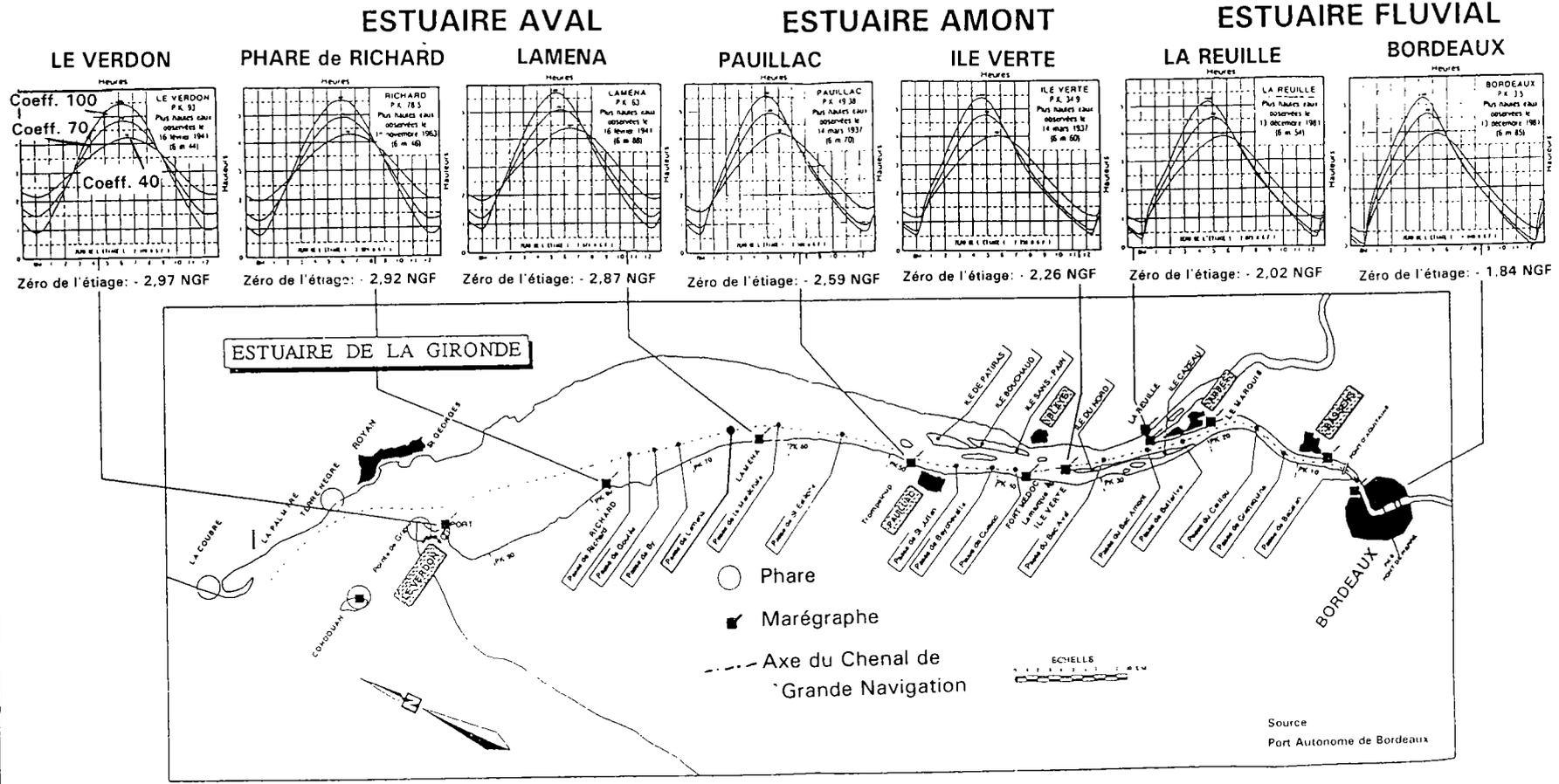


Fig. 10 - Courbes journalières des marées le long de l'estuaire de la Gironde (source Port Autonome de Bordeaux)

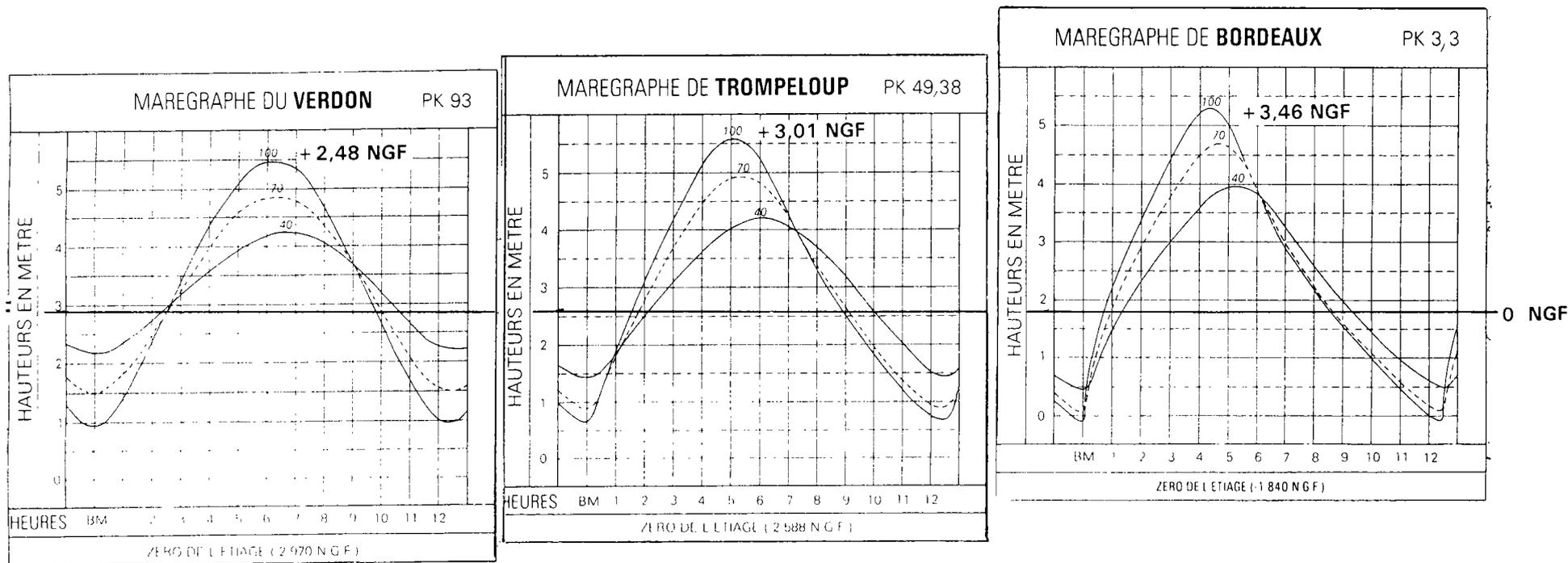


Fig. 11 - Comparaison du marnage et des côtes altimétriques atteintes par le plan d'eau de l'estuaire de la Gironde (source Port Autonome de Bordeaux)

En période de **marées moyennes** et de **mortes-eaux**, le marnage s'accroît régulièrement depuis le Verdon: 3,30 m en marée moyenne (coefficient 70), 2,00 m en mortes-eaux (coefficient 40), jusqu'à 130 km de l'embouchure où il atteint 4,70 m dans le premier cas et 4,00 m dans le second. Sur la Dordogne, au contraire, le marnage décroît lentement jusqu'à Libourne, puis rapidement après la confluence de l'Isle et de la Dordogne.

Le tableau résume les principales valeurs du marnage pour les coefficients 100, 70 et 40.

	Embouchure PK 93	St-Christoly PK 63	Pauillac PK 49	Blaye PK 37	Bordeaux PK 0	Langon PK -45
<i>Marée de vives-eaux coeff. 100</i>	4,50 m	4,80 m	4,95 m	4,90 m	5,40 m	5,60 m
<i>Marée moyenne coeff. 70</i>	3,30 m	3,90 m	4,00 m	4,10 m	4,50 m	4,70 m
<i>Marée de mortes-eaux coeff. 40</i>	2,00 m	2,50 m	2,60 m	2,70 m	3,50 m	4,00 m

Les hauteurs altimétriques du plan d'eau qui en découlent à marée haute sont très constantes, ne dépassant 5,50 m que dans l'estuaire amont. Les cotes altimétriques atteintes par le plan d'eau dans l'estuaire dépassent à peine +3 NGF dans l'estuaire amont et +2,5 NGF dans l'estuaire aval (fig. 11).

Le tableau ci-après précise l'ensemble de ces cotes :

	Embouchure PK 93		St-Christoly PK 63		Pauillac PK 49		Blaye PK 37		Bordeaux PK 0	
<i>Cote de l'étiage par rapport au 0 NGF</i>	-2,97 a	b	-2,87 a	b	-2,59 a	b	-2,26 a	b	-1,84 a	b
<i>Marée de vives-eaux coeff. 100</i>	+5,45	+2,48	+5,70	+2,83	+5,60	+3,01	+5,40	+3,14	+5,30	+3,46
<i>Marée moyenne coeff. 70</i>	+4,80	+1,83	+5,10	+2,23	+4,90	+2,59	+4,80	+2,54	+4,70	+2,86
<i>Marée de mortes-eaux coeff. 40</i>	+4,25	+1,28	+4,40	+1,53	+4,20	+1,89	+4,00	+1,74	+3,95	+2,11

a: par rapport au 0 de l'étiage

b: par rapport au 0 NGF

- Volumes

Alors que pour un coefficient 100, le volume d'eau de mer qui pénètre dans l'estuaire est de $2\,150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ à la Pointe de Grave, les volumes oscillants mis en jeu par la marée dans la zone au sud de St-Christoly (PK 63) sont estimés à :

$760 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	en vives-eaux	(coeff. 100)
$680 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	en marée moyenne	(coeff. 70)
$460 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	en mortes-eaux	(coeff. 40)

Mais ils représentent un peu moins de la moitié entre Blaye et Fort-Médoc pour des largeurs de 5,7 km et 3 km respectivement :

$365 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	en vives-eaux
$290 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	en marée moyenne
$200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	en mortes-eaux

Au niveau de Libourne, $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ d'eau seulement se déplacent lors d'une marée.

3.2.2.2. Courants de marée

Les vitesses et l'orientation des courants de marée varient beaucoup en fonction de la morphologie de l'estuaire, du débit fluvial, du coefficient de marée et du niveau de l'écoulement par rapport à la surface (Allen, 1972; Latouche et Jouanneau, 1991).

Les vitesses maximales observées en vives-eaux ont été mesurées dans les chenaux; elles atteignent 3 m/s en surface et 1,5 m/s à 1 m du fond.

- Variations en fonction de la marée

Les caractéristiques des courants de marée sont liées à celle de la courbe de marée. En vives-eaux et marée moyenne la courbe de marée est très cambrée en amont du Bec d'Ambès (75 km de l'embouchure), car la durée du montant est très courte.

Dans ce secteur de l'estuaire fluvial, ceci se traduit par :

- une accélération brutale des courants au début du flot ("*coup de flot*"),
- une arrivée rapide d'eau marine et augmentation de la salinité dans la moitié ou le tiers inférieur de la section,
- un accroissement de la turbidité par remaniement sur les fonds vaseux.

Ces phénomènes s'accompagnent d'une augmentation des vitesses de flot vers l'amont.

D'après Castaing (1981) dans le chenal de GN du bas-estuaire près du banc de Talais (PK 90) et en période de vives-eaux, les vitesses moyennes atteignent 1 à 1,25 m/s au jusant et 0,75 m/s au flot. En mortes-eaux, les vitesses sont moins élevées : 0,75 m/s à 1 m/s au jusant et 0,50 à 0,75 m/s au flot.

Les courants sont évidemment fonction du coefficient de la marée; ainsi sur l'ensemble de la tranche d'eau les vitesses moyennes établies par le PAB en 1970 augmentent de 1,40 m/s à la Pointe de Grave jusqu'à 1,80 m/s au Bec d'Ambès pour une marée de coefficient 120, alors qu'elles s'échelonnent entre 0,55 et 0,71 m/s pour un coefficient 30.

Généralement, les vitesses théoriques sont plus faibles que les vitesses mesurées car les paramètres de répartition de vitesse sur une même section ainsi que les variations de débits fluviaux ne sont pas pris en compte.

- Variations en fonction de la géométrie de l'estuaire

La section en eau de l'estuaire conditionne l'intensité des courants. Ainsi selon Castaing (1981) près du banc de Talais (PK 90), lors d'une marée de vives-eaux, les mesures dans le chenal de GN montrent que les vitesses moyennes peuvent atteindre 1,25 m/s près de la surface, alors qu'en mortes-eaux, elles ne dépassent pas 1 m/s.

Au fond, elles atteignent 0,75 m/s dans le premier cas, mais elles dépassent rarement 0,50 m/s dans le second.

Plus en amont près du phare de Richard (PK 82) à l'endroit où la section du chenal de GN se rétrécit fortement, la vitesse du courant de flot augmente en surface à 1,70 m/s et atteint 2,40 m/s près de Pauillac (PK 45). Le courant de jusant suit une évolution inverse: 2,40 m/s à Phare de Richard contre 1,60 m/s à Pauillac.

- Vitesses maximales à 1 m du fond

Les mesures de vitesse des courants à 1 m du fond, habituellement utilisés pour calculer la tension de cisaillement sur le fond, traduisent l'aptitude des courants à déplacer les sédiments. Dans le chenal de GN et quel que soit le coefficient de marée, les vitesses les plus élevées s'observent au flot. Dans ce schéma classique de la dynamique estuarienne, les sédiments ont tendance à migrer vers l'amont. Cependant en période de crue, cette migration peut disparaître. Par contre, dans le chenal de Saintonge, les vitesses maximales du jusant sont plus élevées que celle du flot.

Les vitesses maximales de fond ont toujours été mesurées dans le chenal de GN :

- 1,5 à 2 m/s en amont du PK 72 en vives-eaux
- 1,25 à 1,5 m/s en amont du PK 72 en marée moyenne
- 1 à 1,25 m/s en amont du PK 55 en mortes-eaux

- Courants résiduels

Dans la partie amont des estuaires, l'eau est douce alors qu'en aval, elle est salée donc plus dense. En aval, ce phénomène induit au fond une pression supérieure à celle observée au fond en amont. Il y a donc création, près du fond, d'un courant dirigé vers l'amont. Mais ce courant est compensé, en surface, par un courant dirigé vers l'aval dont la vitesse est supérieure à celle nécessaire à la seule évacuation des eaux douces.

En pratique, cette circulation "résiduelle" est mise en évidence lorsqu'on filtre l'effet de la marée en moyennant les vitesses sur un cycle de marée.

Les débits de crue fluviale ou d'étiage influencent beaucoup le sens et les vitesses de ces courants résiduels. Les observations rapportées ont été faites pour une marée moyenne (coeff. 70).

En période d'étiage

Les courants résiduels *de surface* sont dirigés *vers l'aval*. Les vitesses les plus élevées sont observées en général dans le chenal de GN pour l'estuaire-amont et dans le chenal de Saintonge pour l'estuaire aval.

Près du fond, les courants résiduels sont dirigés par contre *vers l'amont*. Les vitesses maximales sont observées dans l'estuaire aval. En dehors du chenal de GN, les vitesses peuvent s'annuler dans certaines zones.

En période de crue

La circulation des *courants de surface* est la même qu'en étiage avec des vitesses résiduelles beaucoup plus importantes.

Près du fond, la circulation devient plus complexe surtout entre les PK 70 et 80. En crue, le fond d'intrusion saline ne dépasse pas le PK 55. En amont de ce point, les vitesses résiduelles sont donc par conséquent dirigées vers l'aval. Dans le chenal de GN, le point nodal (déplacement résiduel nul) se situe entre le PK 55 et le PK 71.

Dans le chenal de Saintonge, les vitesses sont dirigées vers l'aval à peu près partout. La zone d'écoulement résiduel prédominant vers l'amont est réduite à une vingtaine de kilomètres à l'amont du Verdon au lieu de plus de 75 km lors de l'étiage.

- En résumé,

les caractéristiques des courants existants dans l'estuaire de la Gironde peuvent être synthétisées de la façon ci-dessous:

- Les vitesses maximales et moyennes augmentent sensiblement avec les coefficients de marée.
- Dans le bas-estuaire, les vitesses moyennes sont plus élevées au jusant qu'au flot aussi bien en mortes-eaux qu'en vives-eaux. De même les vitesses sont plus grandes dans le chenal de Saintonge (rive droite) que dans les deux autres chenaux.

- Les vitesses maximales de fond sont toujours mesurées dans le chenal de GN, en amont du PK 72 en vives-eaux et en amont du PK 55 en mortes-eaux.
- Les courants résiduels de surface sont toujours dirigés vers l'aval; par contre les courants de fond sont dirigés vers l'amont lors des étiages et plutôt vers l'aval lors des crues fluviales.

3.2.3. Paramètres physico-chimiques

Les principaux paramètres évoqués dans ce paragraphe sont la température et la salinité, qui influent directement sur la densité de l'eau de l'estuaire.

3.2.3.1 Température

De façon générale, dans l'ensemble de l'estuaire, les températures varient de 18° à 26° C en été (valeur la plus haute à l'étiage 1991). Les températures hivernales sont comprises entre 4° et 14° C; le minimum a été mesuré en janvier 1985 avec seulement 2° C. Les variations diurnes sont de 2° à 3° C en moyenne et peuvent atteindre 5° C.

Les variations spatiales s'organisent essentiellement selon un gradient longitudinal dû à la différence de température entre les eaux fluviales et marines. Ainsi les températures varient en fonction de la marée et donc de l'intrusion saline; les écarts peuvent varier entre 0,4° et 2,3° C en surface et 0,2° et 1,2° C près du fond.

Pour la partie médiane de l'estuaire, des relevés de température ont été effectués pendant 3 ans (1984, 85, 86) sur les thermographes mis en place par le CNPE (Centre Nucléaire de Production Electrique du Blayais) sur les stations marégraphiques de Laména et de Pauillac, afin de détecter d'éventuels effets des eaux de refroidissement de la centrale. Les variations annuelles des températures moyennes étaient comprises entre 23° C en juillet et 4° C en février.

3.2.3.1 Salinité

Les variations de salinité sont sous la dépendance du coefficient de marée, du moment de la marée et du débit fluvial à l'endroit considéré. Le paramètre principal influençant la salinité est le rapport entre le débit fluvial et le volume de la marée. La géométrie de l'invasion saline est représentée par trois gradients :

- le *gradient longitudinal* (fonction du débit fluvial)
 - en *étiage*, la limite de l'intrusion saline se situe *en amont du Bec d'Ambès (PK 26)*,
 - en *crue*, l'intrusion saline est repoussée *en aval du PK 55 (Saint-Estèphe)*.

Sur le chenal de Blaye les résultats obtenus entre 1984 et 1992 mettent clairement en évidence les fluctuations de salinité en fonction du débit fluvial. Lors d'un régime d'étiage prononcé (1990) la salinité a atteint 10 g/l en surface et 12 g/l près du fond. La moyenne générale pour la période d'étude s'établit à 2,1 g/l en surface et 2,5 g/l en profondeur.

- le *gradient transversal*
une dessalure des eaux de la rive droite par rapport à la rive gauche traduit la présence des eaux fluviales vers la rive droite et une intrusion des eaux marines vers la rive gauche (24 g/l et 26 g/l respectivement lors du flot au PK 89).
- le *gradient vertical*
exprimant la stratification des eaux, il est en général plus fort dans le chenal de GN à l'aval du PK 70 en période de fort débit fluvial.

Le tableau ci-après résume quelques fourchettes de valeurs de salinité toujours plus fortes au fond:

	<i>ESTUAIRE AVAL</i>	<i>ESTUAIRE AMONT</i>
	Banc de Talais PK 89	Banc de St-Louis PK 53
Eaux de surface	22,5 à 25 g/l	2,8 à 7 g/l
Eaux profondes	24 à 26 g/l	5 à 9,2 g/l

3.3. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

Le transport des sédiments sous l'action des agents hydrodynamiques dépend de la nature et de la granulométrie des particules déplacées.

- Les sédiments sableux sont transportés par charriage ou par saltation sur ou près du fond; les forces qui soutiennent les grains sont transmises par les particules solides.
- Les sédiments fins et vaseux sont véhiculés en suspension dans le fluide, les particules argileuses et grains fins étant maintenus ou supportés par les turbulences de l'écoulement; un gradient vertical de concentration s'établit, résultant de l'équilibre entre le courant de particules ascendant et le courant descendant, dû à la gravité. Deux phénomènes sédimentologiques seront évoqués : le bouchon vaseux et la formation de la crème de vase.

3.3.1. Transport des sables

L'entraînement des grains de sable se produit lorsque la force tractrice des courants qui s'exerce sur eux est plus élevée que celle qui s'oppose à leur déplacement. Il y a donc un seuil appelé *vitesse critique de frottement* qui dépend de la taille des grains, de la

viscosité de l'eau et la rugosité du fond. Le LCHF a établi qu'un sable de 0,5 mm de diamètre est mis en mouvement lorsque la vitesse critique de frottement a atteint 1,9 cm/s, ce qui correspond à une vitesse de courant de 0,5 m/s près du fond. Un sable de 0,2 mm de diamètre est mis en mouvement par un courant de 0,3 m/s sur le fond.

Actuellement, peu de quantité de sables grossiers et de graviers peuvent entrer dans l'estuaire amont en raison de la perte de compétence des fleuves (régularisation anthropique des débits de crues par barrages, élévation du niveau de base). Toutefois, en période de fortes crues, une certaine quantité de sable entre dans l'estuaire amont. Ils viennent grossir les stocks des bancs en bordure du chenal de GN.

Les études de G.P. Allen (1972) ont mis en évidence leurs mouvements saisonniers dans l'estuaire amont et aval :

- En période d'étiage, ces sables sont remaniés sur place dans l'estuaire amont et circulent suivant des cellules fermées autour des bancs dans le sens des aiguilles d'une montre. Le transit de sable s'effectue dans les chenaux vers l'aval, tandis que le charriage sur les barres tend à se diriger vers l'amont.

- En période de crues, les sables remaniés à partir des bancs sableux sont transportés vers l'aval.

Dans l'estuaire aval, et surtout dans le chenal de GN, le charriage est vraisemblablement dirigé vers l'amont en période de crue et vers l'aval en période d'étiage. L'évacuation des sables fluviaux à l'embouchure ne se produit qu'en marée de vives-eaux et en étiage.

Il est intéressant de noter que le secteur de Port de By correspond au point de rencontre de deux stocks sableux de granulométrie décroissante vers le PK 70. Le stock moyen situé à l'amont représente les sables fluviaux progradants peu à peu dans l'estuaire; le stock le plus grossier de l'aval correspond à des sables marins pénétrant sous l'action de la dérive littorale côtière dirigée vers l'amont et sous l'action du flot prédominant.

Actuellement, plusieurs secteurs présentent des migrations de volume importants de sables, qui nécessitent le dragage régulier du chenal de GN. C'est notamment le cas dans la Passe de Laména entre le PK 61 et le PK 66 et la Passe de Cussac entre le PK 35 et le PK 43.

Les volumes de sables dragués entre 1991 et 1995 dans chacune de ces Passes ont été de 1,7 millions de m³, chiffres illustrant bien l'importance des mouvements de sédiments dans l'estuaire.

3.3.2. Dynamique des matières en suspension

3.3.2.1 Bouchon vaseux

La circulation résiduelle induite dans la zone de l'invasion saline provoque un courant vers l'amont des eaux de fond contrebalançant le mouvement vers l'aval des eaux plus douces de surface. A la limite amont de l'invasion saline se forme une zone de convergence entre les eaux salées remontant dans l'estuaire et les eaux douces fluviales s'écoulant vers l'aval (point nodal). Ces mouvements résiduels de l'eau provoquent un piégeage des sédiments fins fluviaux et une surconcentration de *matières en suspension* (MES) dans un volume traditionnellement appelé le **bouchon vaseux** (Allen, 1972; Allen et al, 1980; Castaing, 1981).

Il correspond à une zone de concentration en MES très élevée, 10 à 100 fois supérieure à celles du fleuve amont et de l'estuaire aval, pouvant atteindre plusieurs dizaines de g/l. Chaque année, 2 à 2,5 millions de tonnes de vases en suspension sont apportées par la Garonne et la Dordogne. La masse de sédiments fins dans le bouchon vaseux (4 à 6 millions de tonnes) équivaut à 2 années d'apports fluviaux (Jouanneau, 1979)

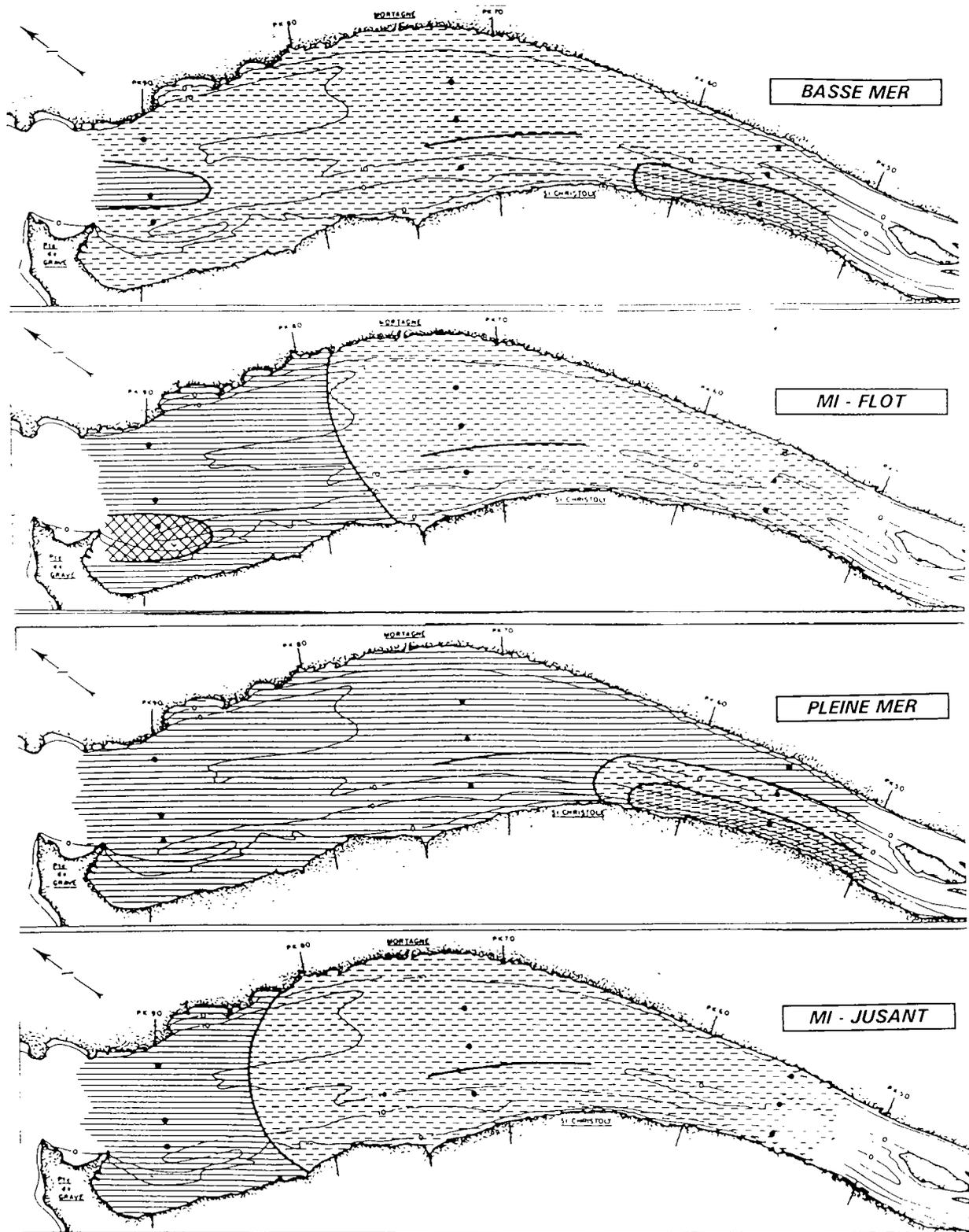
Le bouchon vaseux est centré sur le chenal de GN, mais déborde largement sur le chenal de Saintonge. A l'intérieur de cette zone, les turbidités croissent progressivement pour atteindre plus de 10 g/l dans le noyau localisé près du fond dans le chenal de GN. Le bouchon vaseux peut se développer sur plusieurs dizaines de kilomètres de long en période de faibles débits fluviaux (fig. 12).

La concentration moyenne dans l'ensemble de l'estuaire (établie en 1975-1976) atteint 1 g/l. Pour cette période, les valeurs moyennes des maxima et des minima dans la partie centrale de l'estuaire (PK 35 à 80) étaient compris dans la fourchette: 0,11 g/l (en dehors du bouchon vaseux) à 3,33 g/l (dans le bouchon vaseux).

Contrairement aux idées admises autrefois, qui privilégiaient le rôle de la salinité dans la genèse du bouchon vaseux, on pense maintenant que les mécanismes hydrodynamiques sont prépondérants (Allen et al, 1980).

En particulier, les processus liés aux gradients de densité et à la circulation résiduelle jouent un rôle majeur dans la formation du bouchon vaseux durant les crues, alors que les processus liés à l'assymétrie de la marée prédominent durant les étiages.

Cette situation apparaît nettement en Gironde durant les **périodes de crue forte**. Par débit fluvial supérieur à 2 000 m³/s, le bouchon vaseux est situé à l'embouchure et une



Légende

TURBIDITÉ:  < 0,1 g/l  0,1 - 1 g/l  1 - 5 g/l  > 5 g/l

d'après ALLEN (1972)

Fig. 12 - Répartition de la turbidité près du fond pendant un cycle de marée de vives-eaux en étiage fluvial (Août 1965, d'après Allen, 1972)

partie des matières en suspension s'échappe en mer (fig. 13), car l'importance de la poussée fluviale atténue l'effet de la marée dans l'estuaire amont et déplace vers l'aval la limite amont de la marée dynamique. En période de crue normale, l'accumulation de matières en suspension se produit dans le secteur de Pauillac-St-Christoly (PK 45-70).

En **période transitoire**, la remontée du bouchon vaseux vers l'amont est 2 à 3 fois plus lente que sa descente vers l'aval; elle a été estimée à 1 km par jour. Sa migration intervient en période de débit décroissant, dès que le débit fluvial total est de l'ordre de 700 m³/s. A l'inverse, le blocage du bouchon vaseux au niveau de Bordeaux cessera quand le débit fluvial augmentant atteindra 600 m³/s.

Pendant les **périodes d'étiage**, le bouchon vaseux bien développé se maintient dans l'estuaire amont et il s'étend sur une distance totale de 70 à 80 km, avec une partie assez considérable (40 km environ) en amont de la limite d'invasion saline (Bec d'Ambès). Il peut même atteindre la limite de la marée dynamique en amont du PK -20. Pendant l'étiage, les gradients de densité et la circulation résiduelle induite sont faibles et les eaux de l'estuaire sont alors mieux mélangées.

3.3.2.2. Crème de vase

Lors des mortes-eaux, la décantation d'une partie du bouchon vaseux au niveau des points nodaux de la marée dynamique, engendre la formation de dépôts de vase très fluides communément dénommée **crème de vase**. La sédimentation des MES se produit surtout dans le chenal de GN et dans les fosses profondes de l'estuaire.

La crème de vase suit directement les migrations du bouchon vaseux. Ainsi pendant l'étiage, la formation de crème de vase se fait entre Bordeaux et le Bec d'Ambès, alors qu'en période de crue, ces dépôts interviennent dans l'estuaire aval entre le PK 60 et le PK 78.

Dans la crème vase, les concentrations en MES peuvent atteindre 400 g/l avec des valeurs moyennes comprises entre 100 et 300 g/l. Les lentilles de crème de vase peuvent avoir plusieurs mètres d'épaisseur, quelques centaines de mètres de large et 10 à 15 km de long. La transition avec l'eau surnageante est très rapide, sur quelques décimètres au plus. Il y a très peu d'échange entre cette crème de vase et l'eau de l'estuaire; aussi la salinité peut y être très différente et les circulations y sont presque nulles en cours du cycle de marée.

Par contre, les mouvements de la crème de vase sont soumis au cycle lunaire des marées, responsable des phénomènes de sédimentation-érosion.

En coefficients décroissants, la moindre puissance des courants permet le début de la sédimentation de la crème de vase qui atteint son maximum de dépôt en mortes-eaux.

En coefficient croissants (supérieur à 70), les grandes lentilles de crème de vase se divisent en plusieurs unités, puis sont érodées et remises presque totalement en suspension au cours des vives-eaux.

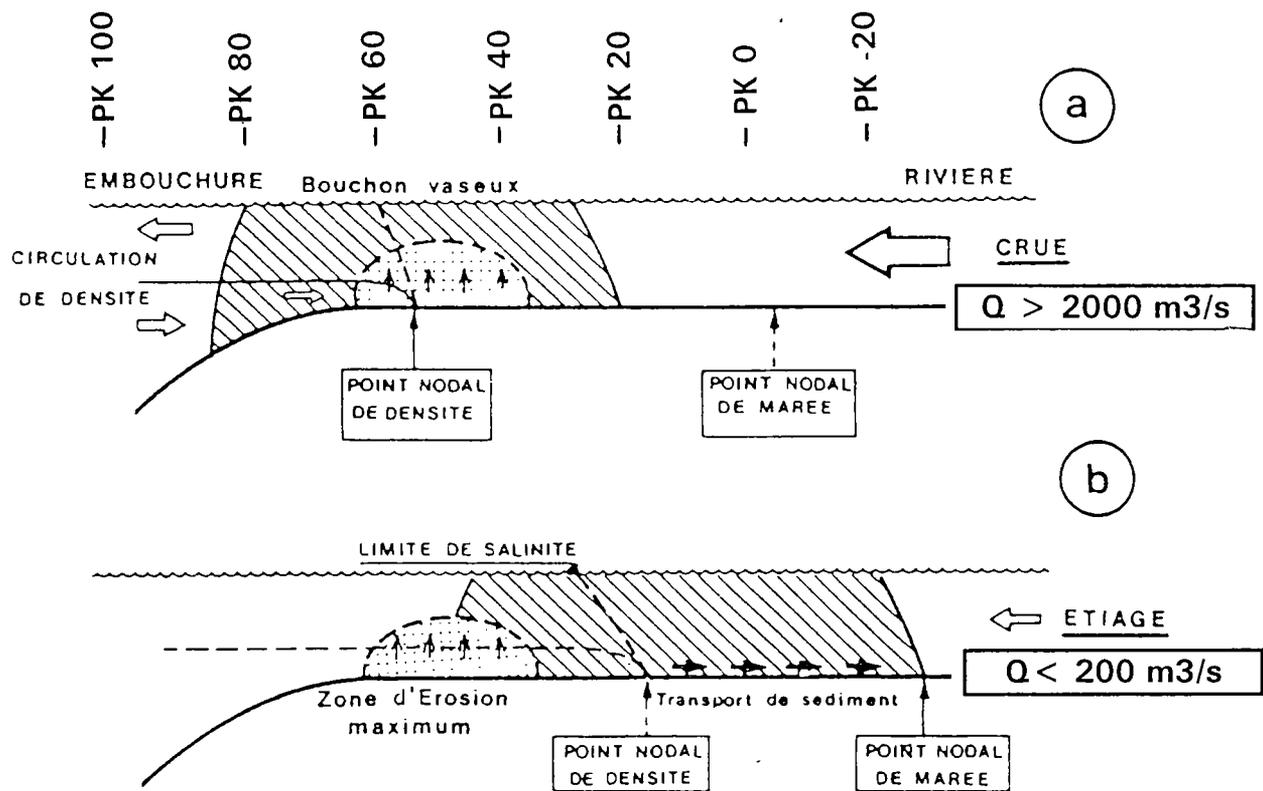


Fig. 13 - Migration saisonnière du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Gironde en fonction des points nodaux de la marée dynamique et de densité (d'après Allen et al., 1980)

Ainsi, la teneur en matières en suspension présente dans le bouchon vaseux varie dans le même sens que les coefficients; elle diminue quand le volume de crème de vase augmente. De plus, la masse totale de matière en suspension a pu être estimée à une valeur comprise entre 4 et 6 millions de tonnes pendant les mortes-eaux; 2 à 3 millions se trouvant dans le bouchon vaseux et une quantité équivalente dans la crème de vase. Depuis l'aval vers l'amont, les dépôts les plus importants existent sur les passes de By - Port de Goulée - phare de Richard (PK 67-78), dans la fosse de Trompeloup (PK 50), sur la Passe de Saint-Julien - Pauillac (PK 43-49), et dans les fosses de l'île Verte (PK 31-34).

En dehors du chenal, des dépôts permanents de matières en suspension (non repris par les cycles de marées) s'effectuent principalement en zone intertidale dans l'estuaire aval alimentant les slikkes des deux rives.

3.3.2.3. Bilan sédimentaire des particules fines

Alors que le système bouchon vaseux-crème de vase retient temporairement 4 à $6 \cdot 10^6$ tonnes de particules fines en suspension plus ou moins continue, la majeure partie des MES finit par se sédimenter définitivement. Le colmatage de l'estuaire de la Gironde est ainsi estimé à $1,2 \cdot 10^6$ tonnes/an de vase, soit un volume de $2,7 \cdot 10^6$ m³/an depuis le début du siècle. Cependant une partie non négligeable de la charge solide est expulsée en mer, estimée à $1 \cdot 10^6$ tonnes/an en moyenne.

Toutefois, les conditions favorables à ces expulsions ne sont réunies que 35 jours par an en moyenne (entre 15 et 50 jours) pendant la période de crue.

Des traçages radioactifs ont permis de mesurer le temps de résidence des particules fines dans l'estuaire, soit 2 ans en moyenne. Cette durée importante contraste donc fortement avec le temps de transit des masses d'eau douce qui est limité à quelques jours, voire quelques semaines au plus.

4. Synthèse des connaissances géologiques sur le substratum de l'estuaire

La phase 1 du projet avait pour objectif principal l'amélioration des connaissances géologiques tout le long et sous l'estuaire de la Gironde pour aboutir à une géométrie du réservoir éocène la plus précise possible. La structuration du substratum, la répartition verticale et horizontale des faciès de la série tertiaire et l'extension des terrains quaternaires ont donc été étudiées.

Pour ce faire, plusieurs axes de recherche ont été travaillés dont les principaux sont d'une part une **réinterprétation géologique moderne de subsurface** du secteur au moyen de la compilation des données de forages et des levés sur le terrain et d'autre part la réalisation d'une **campagne de géophysique électrique** le long de l'estuaire dans les secteurs délimités à risques potentiels par l'étude géologique.

4.1. DEMARCHE SUIVIE ET REPRESENTATION DES RESULTATS

D'importantes inconnues demeuraient sur la nature et la géométrie des couches géologiques cénozoïques entre les affleurements des rives droite et gauche et les accidents tectoniques qui les affectent. Une représentation en trois dimensions a été tentée pour évaluer les relations possibles entre les réservoirs aquifères et les eaux de l'estuaire, optimiser les études hydrogéologiques et préciser l'implantation des piézomètres envisagés.

L'étude géologique a comporté les points suivants :

- Réinterprétation des levés géologiques en rive droite et gauche de l'estuaire
- Dépouillement et compilation de plus de 600 sondages en BSS (en particulier ceux effectués au fond de l'estuaire en 1968 - Landry, 1969), recherche des forages disponibles avec notamment recueil d'éventuels nouveaux sondages du PAB
- Réalisation d'une cartographie à 1/50 000 sur l'emprise de l'estuaire, comprenant la géologie du substratum ante-quaternaire et la position des zones à risques en fond de l'estuaire (zone de contact éventuel de l'Eocène avec les eaux saumâtres)
- Réalisation de coupes géologiques transversales entre le Bec d'Ambès et l'embouchure
- Intégration des résultats de la campagne de géophysique moderne (BRGM, 1996) et de l'ancienne campagne dans le Médoc (CGG, 1967-69).

Les documents synthétisant l'étude géologique sont:

- Une carte géologique à 1/100 000 représentant en écorché ante-quaternaire les formations du substratum crétacé et tertiaire sous l'estuaire et sur ses deux rives depuis le Bec d'Ambès jusqu'à l'embouchure de la Gironde
- Une carte à 1/200 000 en isopaques de l'épaisseur estimée des dépôts holocènes imperméables et semi-perméables au-dessus des terrains perméables des terrasses alluviales et du substratum ancien
- 16 coupes géologiques transversales sériées à 1/50 000, régulièrement espacées le long de l'estuaire, indiquant plus particulièrement la géométrie du réservoir de l'Eocène moyen, déduite de l'interprétation de plus de 115 sondages à terre et dans l'estuaire, parmi les quelques 600 sondages examinés (figures 15 à 19, 23 à 25, 28, 30 à 32, 34, 36 à 38)
- Une carte d'implantation à 1/50 000 des points de mesures de la campagne géophysique (planche 3)
- Deux coupes géo-electriques à 1/25 000 le long des profils géophysiques (planches 4 et 5).

4.2. DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE

Seuls les terrains affleurants dans la zone étudiée sont présentés dans l'ordre stratigraphique, de manière synthétique (fig. 14), mais ne seront détaillés qu'à l'occasion du commentaire des coupes.

4.2.1. Crétacé supérieur (Campanien à Santonien)

Les couches de la fin du Crétacé affleurent sur les coteaux de la rive droite de l'estuaire aval à partir du PK 62 (St-Bonnet sur Gironde) jusqu'à l'embouchure au nord de St-Palais sur Mer (Platel, 1987).

Dans cette région située sur le flanc occidental de l'anticlinal de Jonzac, les terrains crétacés sont affectés d'un pendage général vers l'ouest-sud-ouest, si bien que, compte-tenu de l'obliquité du pendage par rapport à la direction de l'estuaire, la série campanienne se développe dans une suite d'affleurements le plus souvent en falaises qui s'alignent sur près de 50 km, depuis sa base visible à St-Romain sur Gironde jusqu'au

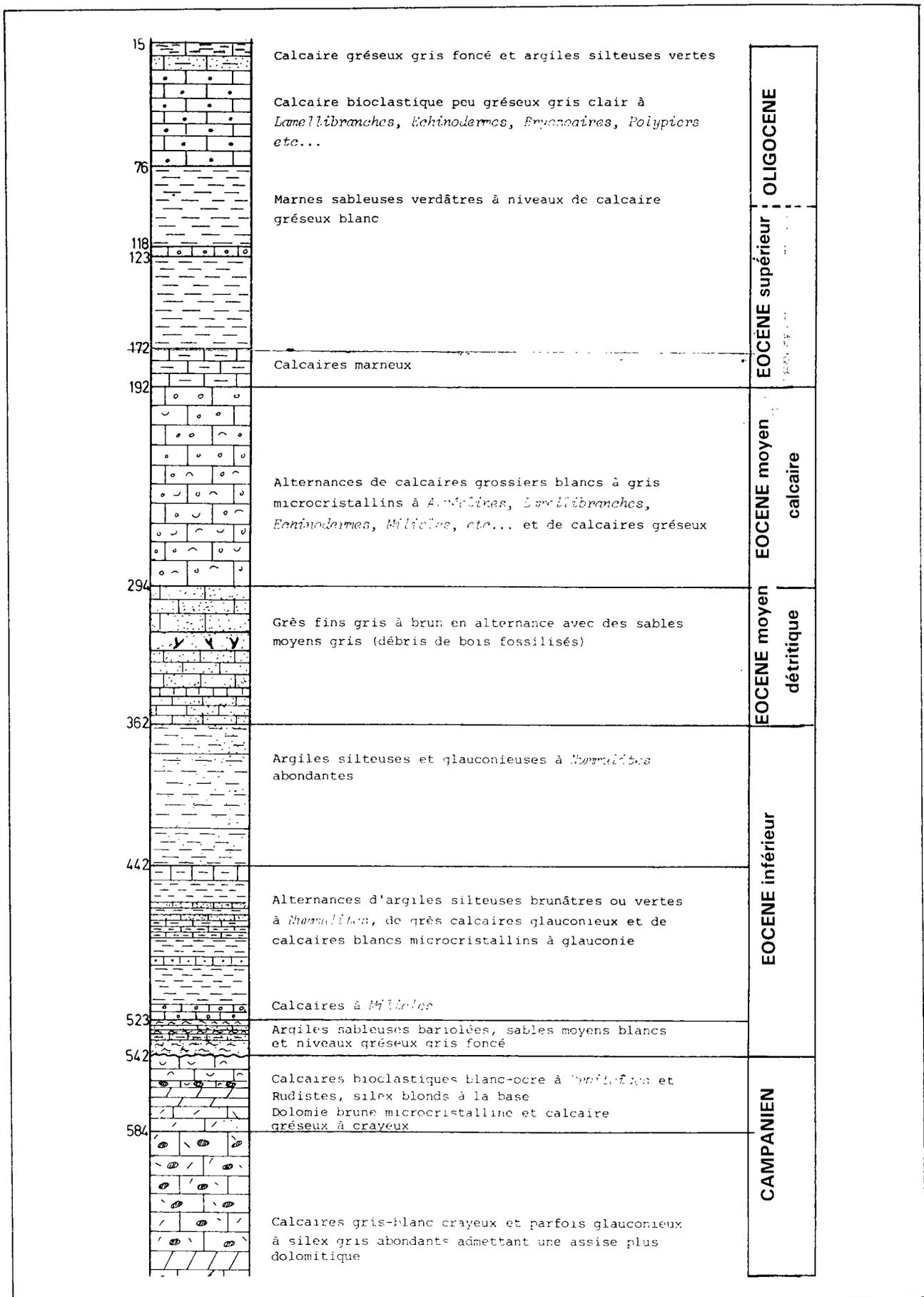


Fig. 14 - Coupe lithostratigraphique synthétique du Tertiaire et du sommet du Crétacé aux abords de l'estuaire de la Gironde

nord de St-Palais-sur-Mer (la Grande Côte). Cependant, c'est dans les falaises de Meschers vers le milieu de cette suite d'affleurements que sont atteintes les couches stratigraphiquement les plus élevées, en partie du fait que la falaise y est la plus haute (près de 30 mètres). Elles perdent nettement de l'altitude au nord de la Pointe de Suzac. C'est au niveau de St-Seurin d'Uzet que se fait le passage entre les falaises mortes en amont du village et les falaises vives en aval. L'ensemble du Campanien présente une puissance de 160 m environ, au-dessus des derniers terrains du Santonien supérieur qui n'apparaissent qu'à St-Dizant-du-Gua avec quelques mètres de calcaires crayeux micacés en plaquettes (Camailleau).

A la base de l'étage sur 100 m de puissance, le Campanien inférieur et la base du Campanien supérieur sont constitués par une alternance de calcaires crayeux blancs, de calcaires marneux et de marnes verdâtres, à silicifications grisâtres et spongiaires par niveaux.

Au sommet sur 60 m d'épaisseur, le Campanien supérieur élevé est fait de calcaires bioclastiques jaunes très fossilifères (huitres, rudistes, *Orbitoides*, etc...) qui constituent les falaises vives depuis Talmont jusqu'à St-Palais. Seule cette partie du Campanien est perméable et aquifère et a été captée par les forages profonds du CPN du Blayais.

4.2.2. Eocène inférieur

De façon synthétique, le Tertiaire a vu s'installer une sédimentation beaucoup plus littorale qu'à la fin du Crétacé dans cette région, ainsi les faciès sont souvent détritiques, les plates-formes étant envahies régulièrement par les produits d'érosion du continent (Dubreuilh, 1987).

Souvent très épaisse (150 à 200 m), la série assez complexe de l'Eocène inférieur peut être subdivisée en trois unités:

- *Le membre détritique inférieur* est composé d'argiles sableuses bariolées gris-rouge, de sables plus ou moins moyens avec quelques niveaux gréseux gris-foncé. Le caractère pétrographique des sables et des argiles, ainsi que l'absence de faune dans cette série lui confère un environnement continental comme milieu de dépôt. Elle rend compte de l'émersion de la région à la fin du Crétacé.

Peu épaisse vers l'ouest (10 à 30 m), elle augmente de puissance vers l'est en arrivant dans le domaine continental deltaïque de l'époque, dont les faciès affleurent largement à l'est de St-Ciers-sur-Gironde.

- *Le membre argilo-carbonaté et détritique* (100 à 150 m) voit l'apparition de nombreux bancs de calcaires blancs microcristallins à glauconie et de grès calcaires dans une série d'argiles silteuses vertes à brunes. Des *milioles* et *Nummulites* y sont fréquentes par niveaux, les *Discocyclines* plus rares. Cette microfaune, ainsi que la glauconie, témoignent du caractère nettement transgressif de ce membre.

- *Le membre détritique supérieur* (60 à 80 m) peut se caractériser par la présence de la glauconie en abondance, la fréquence des *Nummulites* et le faciès qui correspond à des argiles silteuses verdâtres foncées assez peu carbonatées.

4.2.3. Eocène moyen

Dans toute la Gironde occidentale et le Médoc, les couches de l'Eocène moyen de lithologie assez variée, compte-tenu des évolutions paléogéographiques rapides, peuvent être subdivisées en deux séries dont les caractéristiques de réservoir sont variables, mais les meilleures de tout l'Eocène. **Elles sont en continuité hydraulique, constituant le réservoir de l'Eocène moyen, objet principal de l'étude.**

- Eocène moyen détritique (50 à 100 m)

Egalement appelé dans la littérature et les études anciennes : "**Sables inférieurs**" (du Bordelais), "**Sables éocènes**", "**Sables verts**", ce membre est constitué essentiellement de grès plus ou moins friables, par suite d'une cimentation très variable, mais souvent faible, par les carbonates. La glauconie, parfois présente, est généralement beaucoup moins abondante que dans l'Eocène inférieur. La granulométrie est moyenne à grossière. La base est souvent très grossière (taille des grains de quartz atteignant 4 à 5 mm de diamètre, présence de petits galets) et parfois riche en débits ligniteux. Au-dessus, quelques niveaux plus calcaires y existent. Les *Nummulites*, seulement présentes à la base, se raréfient par rapport à la série de l'Eocène inférieur.

- Eocène moyen carbonaté (30 à 150 m)

L'importante formation carbonatée d'âge lutétien du "**Calcaire de Couquèques**" et du "**Calcaire de Blaye**" (dont l'extrême sommet serait par endroit d'âge éocène supérieur) s'est déposé ensuite. Elle est constituée par des calcaires blancs à gris bioclastiques très fossilifères (lamellibranches, échinodermes, bryozoaires, *Alveolina elongata*, *Orbitolites*, *Discocyclines*, *Operculines*, *Milioles*) ou s'intercalent localement de nombreux niveaux détritiques : calcaires gréseux et marnes grisâtres.

La limite entre les deux membres de l'Eocène moyen est variable et diachrone, car les faciès carbonatés remplacent progressivement les faciès gréseux en allant d'est en ouest, au fur et à mesure de l'éloignement du littoral de l'époque. Dans une frange de quelques kilomètres de largeur, des faciès alternants verticalement existent notamment en bordure occidentale de l'estuaire entre les PK 80 et PK 63 et entre les PK 30 et PK 23. Ils s'étendent de part et d'autre de l'estuaire entre les PK 55 et PK 40 (planche 1).

4.2.4. Eocène supérieur

Le dépôt de la série éocène s'est ensuite poursuivi avec une grande variabilité de faciès du point de vue vertical. La base de l'Eocène supérieur est généralement constituée par

des faciès argilo-marneux, peu épais, mais presque toujours présents dans les sondages (distingués sur les coupes et la carte en annexe).

Ces faciès correspondent aux "**Argiles à *Ostrea cucullaris***", vers l'ouest et aux "**Calcaire et argiles de Plassac**", dépôts continentaux à l'est. Leur épaisseur est de l'ordre de 3 à 5 m généralement. Ces couches constituent un **niveau imperméable** correspondant au toit du réservoir Eocène moyen captif.

Au-dessus, la série lithostratigraphique de l'Eocène supérieur du Médoc est très alternante, faite de séquences peu épaisses de marnes et argiles vertes à grises passant à des calcaires bioclastiques très fossilifères de plateforme très proximale. Ce sont de bas en haut les formations suivantes : "**Calcaire de Bégadan**", "**Calcaire de Saint-Yzans**", "**Marnes à *Ostrea bersonensis***", "**Calcaire de Saint-Estèphe**", "**Calcaire argileux à *Sismondia***". L'ensemble de la série marine a une puissance de 25 à 60 m en Médoc oriental.

Dans le Blayais et le Bourgeais, des faciès continentaux s'intercalent ou remplacent certaines formations. C'est notamment le cas de la base des "**Molasses du Fronsadais**" et des faciès fluviatiles des "**Sables du Périgord**" et des "**Sables du Libournais**".

4.2.5. Oligocène

La base des terrains de l'Oligocène est constituée, dans le domaine marin qui occupe la majorité de la région, par quelques mètres de marnes gris-bleues à petits foraminifères passant latéralement dans le Bourgeais à la partie supérieure grésosableuse des "**Molasses du Fronsadais**".

Au-dessus, s'est déposée sur 60 m environ, la formation du "**Calcaire à astéries**" d'âge stampien, principalement constituée par des calcaires granulaires bioclastiques peu gréseux dans ce secteur de Gironde, riches en débris d'échinodermes, lamellibranches, bryozoaires, etc...

Au sommet de l'étage oligocène (Chattien), quelques mètres d'argiles silteuses verdâtres à brun-sombre, terminent la série marine dans le secteur étudié.

4.2.6. Quaternaire

Après le retrait de la mer au début du Miocène, les cycles d'érosion/sédimentation ont façonné le substratum de la région pendant tout le Pliocène et le Quaternaire. Deux périodes principales caractérisées par des dépôts spécifiques se sont succédées.

Après la période Pliocène (-5 / -2 millions d'années), dont les témoins alluviaux sont très rarement conservés, le système alluvial du delta landais a commencé à se déplacer vers le nord pendant tout le Pléistocène (Dubreuilh *et al*, 1995).

- Pléistocène

A partir de -1,5 million d'années environ, la région médocaine, et dans une moindre mesure la région sud-Saintonge-Blayais-Bourgeais, ont été activement creusées par de vastes plaines alluviales dont les cours divaguaient largement.

Ainsi la zone d'alluvionnement de la **Formation de Belin** recouvre tout le nord de la Gironde depuis la vallée de l'Eyre jusqu'aux hauteurs du Bourgeais et du centre de l'Entre-Deux-Mers où elle passe à la **Formation de Sadirac**. Partout des graviers à petits galets se sont déposés sur 5 à 10 m le plus souvent, mais ces formations atteignent localement 20 m de puissance dans l'axe des principaux chenaux de ce delta, large de 60 km environ au niveau du littoral atlantique actuel, qui préfigure l'exutoire du système Garonne-Dordogne.

Au cours des glaciations du Pléistocène, les lits majeurs se sont encaissés progressivement en réduisant corrélativement leur emprise et en continuant à se déplacer vers le nord-est, balayant ainsi les terrains tendres tertiaires de tout le Médoc jusqu'aux reliefs plus résistants des calcaires crétacés de la rive droite (Dubreuilh et al, 1995). Il en résulte un ensemble de terrasses constituées de galets plus ou moins grossiers, de sables et de graviers qui s'étagent sur 7 à 8 niveaux entre +8 NGF pour les plus anciennes et -45 NGF pour les plus récentes de l'époque würmienne (cotes établies selon un transect pris au niveau du bas-estuaire - PK 90 environ). La coupe 2 en donne une illustration partielle. Les cotes des différents niveaux s'élèvent progressivement vers l'amont du système Gironde -Garonne d'environ 1 pour mille (Dubreuilh, 1976).

Tous ces cours alluvionnaires se sont recoupés en fonction de la progression latérale des méandres pour ne laisser à l'heure actuelle que des lambeaux discontinus de terrasses formant des "poissons". Seules les trois plus anciennes terrasses du Pléistocène inférieur et moyen affleurent dans le Médoc (niveau de Listrac, niveau d'Arsac - Margaux - Pauillac - St-Estèphe, niveau de Jau-Dignac-Loirac). Les autres sont invisibles, recouvertes par les sédiments holocènes.

- Holocène

A la fin de l'époque würmienne (11 500 BP environ), le niveau des mers s'était abaissé de façon considérable en Europe. Tous les auteurs estiment qu'il était situé entre -60 et -100 m NGF. Il en a résulté un très grand pouvoir érosif du cours inférieur des rivières et une topographie très accidentée des anses côtières. Après ce creusement préflandrien, il faut imaginer l'actuel estuaire de la Gironde comme une vallée assez encaissée, large de 2 à 3 km entre Blaye et Lamarque (PK 37) et profonde de 60 m environ par rapport aux flancs les plus proches du Bourgeais et Blayais; le lit majeur plus ou moins étroit suit un seul cours (coupe 13).

Un peu plus en aval, la vallée se rétrécit à 1 km seulement (coupes 12 et 13). A partir du PK 42, si le lit majeur ne change pas de largeur, le paléocours se déporte vers l'ouest et

longe continuellement le bord occidental de la large incision pléistocène (coupe 10 à coupe 6); l'encaissement se réduit à 40 m environ par rapport aux coteaux les plus proches du Médoc. Sur la rive droite, s'étend une vaste plaine alluviale perchée à 20 m environ au-dessus de la vallée et large de 8 km au plus sous le futur marais de St-Ciers (coupes 7 et 8).

Puis à l'aval du PK 68, entre St-Christoly et le Port de By, le paléocours de la Gironde se dédouble, le cours oriental se bloquant contre les falaises du Crétacé qui le dominent de plus de 70 m près de Meschers (coupe 2), alors que le cours oriental coulait en contrebas d'une longue surface étagée sur 4 à 5 niveaux entre -25 NGF et +5 NGF (coupe 2). Près de l'embouchure, les deux bras de la Gironde coulaient à la fin du Würm, il y a 9 500 ans, à -45 NGF environ séparés par un interfluve d'ampleur kilométrique de 10 à 15 m environ de hauteur (coupe 1).

Puis la **transgression flandrienne** a permis à la mer de regagner sur la côte et c'est probablement aux époques Boréale et Atlantique, vers 8000 à 6000 BP, qu'un bras de mer a commencé à envahir le substratum de l'estuaire actuel, s'infiltrant d'abord dans les paléocours, puis submergeant les unes après les autres, les alluvions des terrasses pléistocènes. Toutes les zones basses des rives charentaises et médocaines sont alors comblées peu à peu par le **bri** ("**Argile à scrobiculaires**"), vase argilo-silteuse qui résulte des limons apportés par la Garonne et la Dordogne et des produits d'érosion des falaises côtières, le tout redéposé par la mer sur les zones intertidales (**slikkes**) qui se surélèvent lentement suivant la montée du niveau de la mer.

Il ressort des renseignements archéologiques que la fin de la transgression flandrienne depuis 5000 BP s'est effectuée de façon très régulière avec une montée relative du niveau de la mer d'environ 6 m en moyenne par millénaire. Toutefois, il est probable que le niveau se soit stabilisé plusieurs fois pendant quelques siècles pour reprendre ensuite sa montée. Témoins de ces arrêts, des cordons littoraux existent dans le nord du Médoc, dont le plus important est le cordon coquillier de Richard daté de 2500 à 1500 BP. Il domine de 1 à 2 mètres les marais récents (**mattes**).

L'optimum de la transgression a été atteint vers le II^{ème} siècle avant J.C. (2150 à 2050 BP) comme l'attestent les nombreux sites à sel protohistoriques découverts à la limite des marais et dans les marais de l'Aunis.

Ainsi plus de 30 m d'argile se sont par endroit sédimentés dans le bas-estuaire, alors que l'on n'en trouve que de 10 à 20 m généralement dans l'estuaire amont et 5 à 7 m au niveau du Bec d'Ambès. Les plus grandes étendues affleurantes de ces argiles sont dans le marais de St-Ciers avec 5 à 10 m d'épaisseur et dans les marais de St-Vivien du Médoc (planche 2).

La régression finale de la mer vers 200 ans avant J.C. jusqu'aux rivages actuels de l'estuaire a peu à peu asséchée les vases des slikkes colonisées par les **schorres**, pour donner les **mattes** et **palus** actuellement couverts de prairies.

4.3. CONTEXTE STRUCTURAL

4.3.1. Pendages

Le pendage régional des couches vers les sud-ouest est faible mais non négligeable, compris entre 0,5 % et 1,2 %, les plus forts pendages étant interprétés dans le secteur de St-Christoly/Bégadan.

Dans le sud de la zone étudiée, le pendage s'adoucit voire s'inverse localement comme à la confluence du Bec d'Ambès.

4.3.2. Failles

Quelques failles de direction armoricaine NW-SE (N130°/150°E) sont connues dans les terrains crétacés de la rive droite. Il est également probable qu'au moins quatre accidents normaux en relais de même direction conditionnent l'orientation et la localisation des falaises campaniennes de Saintonge, notamment celles des falaises mortes entre St-Seurin d'Uzet et Camailleau et plus au sud jusqu'à St-Bonnet sur Gironde.

Une faille est également supposée dans le Campanien supérieur pour expliquer la quasi-verticalité du canyon préflandrien entre Meschers et Suzac (coupe 1 et 2).

Dans le sud de la zone étudiée, une longue faille est supposée exister pour expliquer l'abaissement des terrains tertiaires du Bourgeais (sondage 779-6-1 du Pain de Sucre) par rapport aux séries de la rive gauche (sondage 779-5-18 de Labarde) et affleurements de l'Eocène supérieur de Margaux. Son rejet a été estimé à 10 à 15 m. Un élément de cet accident est connu à Roque de Thau, sa prolongation vers le nord est supposée jusque devant St-Julien de Beychevelle d'après la carte géologique de Blaye (Mouline, 1979).

4.3.3. Structuration souple

- Anticlinal de Blaye-Listrac

Des anticlinaux à grand rayon de courbure sont connus depuis longtemps dans la zone étudiée. Le plus grand est celui de Blaye-Listrac, dont l'axe est orienté N 60° E sur 15 km de long. Les coupes 12 et 13 sont parallèles à cet axe, montrant qu'un léger ensellement orthogonal existe dans le secteur de Cussac-Lamarque. C'est pourquoi le coeur lutétien affleure principalement à Blaye (falaise de la Citadelle) mais aussi à Listrac (carrière de Peyrelebadé). L'anticlinal traverse donc l'estuaire amont au niveau du Fort Médoc et l'île Paté (PK 36,5).

- Dôme anticlinal de Couquèques

Dans le nord du Médoc, existe une deuxième structure anticlinale beaucoup plus arrondie, appelée dôme de Couquèques car les affleurements de calcaires lutétiens au coeur sont étendus sur cette commune et sur celle de Bégadan.

Plus au nord, les terrasses quaternaires masquent presque complètement les affleurements éocènes. Cependant près de Valeyrac existent des témoins de ces calcaires en bordure des mattes flamandaises et des pointements rocheux de calcaires fossilifères ont été mis en évidence autour du Platin de Richard lors de la *Campagne Armor 69*. La prospection géophysique a également permis de détecter une remontée importante d'un terrain conducteur profond et d'un résistant profond autour de Port de Goulée, pouvant être interprété comme les calcaires crétacés probables.

Un sondage de reconnaissance achevant la phase 1, effectué à cet endroit, n'a cependant pas montré de remontée du contact grès/calcaire de l'Eocène moyen par rapport à Phare de Richard. Il semble donc que l'apex anticlinal se situe bien dans le secteur de Port de By avec le toit des terrains gréseux de l'Eocène moyen détritique à -10 NGF seulement, contre à -43 NGF à Port de Goulée.

- Remontée anticlinale de Saint-Estèphe

Entre les PK 53 et PK 55, la nouvelle interprétation géologique a permis de mettre en évidence une petite structure positive à très grand rayon de courbure; en effet l'extrême base de l'Eocène supérieur affleure entre le bourg de St-Estèphe et l'estuaire. La coupe du sondage du Château Meney vient en appui de cette idée avec la position du toit de l'Eocène moyen calcaire fixée à +4 NGF, alors qu'il est situé au nord et au sud sous le 0 NGF. Ce sera confirmé plus loin par les résultats de la géophysique.

4.4. RELATIONS ENTRE LE TERTIAIRE ET LE FOND DE L'ESTUAIRE

Une campagne de géophysique embarquée avait initialement repéré des pointements rocheux le long du chenal de GN (Horn, 1967). Mais les principales données exploitées sont celles de la campagne de vibrosondages, réalisés par la société ARMOR pour le compte du PAB (*Campagne Armor 69*), et suivis par le BRGM (rapports 69 SGL 137 AQI et 69 SGL 239 AQI). Au cours de ces travaux, 336 sondages ont été effectués dans l'emprise du chenal de GN entre le PK 80 et le port de Bordeaux (PK 3). Son but était de reconnaître la nature lithologique des terrains au fond du chenal et ses abords jusqu'à -10 m sous étiage pour prévoir leur enlèvement en vue de l'approfondissement et du calibrage du chenal de GN à -7 ou -8 m sous étiage.

D'autres campagnes de sondages ont été réalisées entre 1970 et 1974 dans la zone portuaire du Verdon principalement (CETE, 1971). Quelques sondages en sites nautiques ont aussi été forés devant la centrale nucléaire du Blayais et pour des reconnaissances géotechniques diverses.

Les premières études sur les relations substratum/estuaire sont dûes à Féral (1970) et Dubreuilh (1976), indiquant la morphologie du fond ante-quaternaire. Cependant, la géométrie des terrains tertiaires et crétacés eux-mêmes n'y sont que rarement détaillés.

C'est pourquoi 16 coupes sériées transversales à l'estuaire ont été établies à partir des données d'affleurements et de sondages à terre et en site nautique entre le PK 25 et le PK 94, soit une coupe tous les 4 km en moyenne. Cependant au nord du PK 70 (coupe 4), l'espacement est plus important par suite du manque de sondages. Elles montrent clairement les relations géométriques **entre le réservoir de l'Eocène moyen, les terrains quaternaires et le fond de l'estuaire.**

Alors que la plupart des sondages n'ont traversé que des vases et des argiles plus ou moins sableuses de l'Holocène reposant sur des sables et graviers à galets des terrasses pléistocènes, quelques sondages ont atteint les calcaires plus ou moins détritiques du substratum tertiaire. Chaque fois que c'est le cas, une coupe transversale a été dressée passant par ces remontées du substratum (coupes 3, 4, 6, 8, 10, 11, 12, 13).

Les commentaires seront faits par zones assez homogènes, illustrées par un groupe de coupes à géométrie géologique semblable (fig. 15 à 19 et fig. 22).

4.4.1. Estuaire aval

- Zone entre le PK 100 et le PK 80 (coupes 1 et 2)

Dans le secteur du Verdon-Soulac en rive gauche à Meschers en rive droite, le fond de l'estuaire n'est pas en contact avec les terrains ante-quaternaires, car l'épaisseur des argiles flandriennes est très grande (plus de 30 m à la Pointe de la Chambrette et sous le Banc des Marguerites, 25 m sous la Gironde). Les terrasses à galets sont présentes partout sur 5 niveaux non affleurants.

Les calcaires du Crétacé occupent toute la moitié orientale de l'estuaire, les grès de l'Eocène moyen et inférieur couvrant la moitié occidentale; ils ont été reconnus par les sondages 706-5-36 et 43, 730-1-25 et 26 en particulier. Les calcaires de l'Eocène moyen s'étendent toujours sous couverture sous toute la presqu'île du Verdon.

- Zone entre le PK 80 et le PK 65 (coupes 3, 4, 5)

Dans le secteur compris entre Phare de Richard et St-Christoly en rive gauche, St-Seurin d'Uzet et St-Dizant-du-Gua en rive droite, l'emprise du substratum crétacé devient de moins en moins importante en allant vers l'amont (la limite Crétacé-Tertiaire se situant à la limite marais-estuaire vers le PK 70).

Les grès de l'Eocène ont une emprise de 4 km de largeur pour une puissance de 50 à 80 m, comme les calcaires qui les surmontent. En allant vers Queyrac et Lesparre, la

puissance de ces derniers augmente au détriment de celle des grès. L'emprise de la zone où existent des interstratifications de faciès grés-sableux et de faciès calcaire est large de 7 à 8 km dans le secteur de Tour de By - St-Christoly. Les sondages 754-3-17 et 18 (coupe 5 - PK 66) l'ont traversé sur 40 m environ sous 16 à 20 m de terrains quaternaires (fig. 20).

Au niveau des coupes 3 et 4, le fond du chenal de GN arrivent à toucher les calcaires de l'Eocène, dans une petite zone à l'ouest de Platin de Richard (PK 77, sondage 730-6-20) et sur plus de 5 km de long sur 0,5 km de largeur moyenne à l'est de By (PK 68 à PK 74, sondages 730-7-31 et 32; fig. 21 et 22).

C'est entre la coupe 4 et la coupe 3 que les terrains gréseux ont été interprétés comme les plus proches du fond de l'estuaire (apex anticlinal) et cette hypothèse a été confirmée par la géophysique, puis par le sondage de reconnaissance de Port de Goulée. Les argiles sablo-carbonatées de l'Eocène inférieur ont été reconnues à partir de 92 m de profondeur à St-Christoly. Leur puissance n'est pas connue mais supposée inférieure à 30 m.

4.4.2. Estuaire amont

- Zone entre le PK 65 et le PK 52 (coupes 6, 7, 8)

L'obliquité des courbes subaffleurantes par rapport au cours de l'estuaire, légèrement plus méridiens dans cette zone, fait que les terrains calcaires de l'Eocène moyen passent progressivement d'une zone d'emprise en partie gauche de l'estuaire au PK 64 vers la partie droite du PK 47.

Les coupes 6 à 8 qui couvrent le secteur compris entre St-Christoly et Cissac-Médoc en rive gauche et entre St-Bonnet/Gironde et Braud-St-Louis en rive droite présentent un même type de géométrie de terrains éocènes (fig. 23 à 25).

L'Eocène moyen gréseux est puissant de 50 m environ au centre du secteur reposant sur 72 m de terrains de l'Eocène inférieur (argile noire à verte, grès glauconieux et argile sableuse bariolée) reconnus sous la centrale EDF du Blayais (755-5-70 et 72). Vers l'ouest, l'Eocène moyen calcaire s'épaissit à plus de 55 m à St-Estèphe (754-8-116) et Couquèques (754-3-10), alors que c'est moins de 10 m de calcaires marneux qui le représente le plus souvent dans la zone orientale (755-5-70).

Le passage de faciès peut être assez brutal comme supposé entre le PK 65 et PK 60 (coupe 6), ou avec de nombreuses interstratifications de faciès grès/calcaire entre le PK 55 et le PK 47 (coupes 8 et 9).

Une petite zone où le rocher calcaire affleure sous le fond du chenal de GN a été reconnue par sondage dans la passe de Laména (coupe 6). En effet, le chenal est bordé coté ouest par un flanc de calcaire depuis la cote -5 m jusqu'à -9,5 m avec une partie en

promontoire s'élevant jusqu'à -2,5 m au droit du PK 64 (sondage 754-4-42; fig. 26 et 27). Le flanc de calcaire forme un petit talus d'érosion ennoyé par les argiles flandriennes qui ont été traversées jusqu'à -13 m au moins par le sondage le plus proche à l'est (754-5-43). Au droit du PK 54, cette configuration se reproduit, mais les calcaires restent masqués sous une faible épaisseur d'argile flandrienne, seuls des blocs ont été repérés dans le sondage 754-8-78, emballés dans l'argile et des marnes. Il est cependant possible que les calibrages du chenal postérieurs à 1970 aient creusé dans le sommet de l'Eocène moyen.

Plusieurs niveaux de terrasses alluviales forment des "poissons" emprisonnés entre les grès et calcaires du réservoir éocène et les argiles holocènes. Deux niveaux sont au moins probables, l'un vers -35 NGF au fond de l'incision maximale et l'autre s'étalant vers -18 NGF à -15 NGF bien connu sous le marais de St-Ciers/Gironde, mais qui peut avoir des équivalents en rive gauche de la paléovallée.

- Zone entre le PK 52 et le PK 37 (coupes 9, 10, 11, 12)

Cette zone correspond à l'emprise du synclinal de Pauillac-St-Julien de Beychevelle situé entre Trompeloup et Cussac en rive gauche, Anglade et Segonzac en rive droite.

A partir du PK 52, les calcaires de l'Eocène moyen s'enfoncent progressivement et au PK 47 (coupe 9), ils sont déjà à 10 à 15 m sous le fond du chenal. De ce fait, le petit talus d'érosion que l'on suit depuis le PK 65 se trouve creusé dans les terrains calcaréo-marneux de l'Eocène supérieur rencontré à partir de -4 m dans le sondage 754-8-115.

Le sondage 754-8-3 de Pauillac montre bien l'interstratification "grès/calcaire/marnes" des terrains dans l'Eocène moyen détritique à partir de 28 m de profondeur (fig. 29).

L'Eocène moyen détritique dépasse 40 m d'épaisseur près de Blaye (779-1-1 et 8) alors que les calcaires de Blaye du Lutétien atteignent plus de 50 m en rive droite pour dépasser 110 m sous Cussac (778-4-1). Leur base est souvent plus argileuse par passage latérale de faciès à partir de la formation détritique (55 m) au sondage 778-4-32 (fig. 33).

A partir du PK 46 jusqu'au PK 40 les terrains de l'Eocène supérieur forment presque tout le substratum de l'estuaire sous une épaisse assise d'argiles flandriennes (coupe 10). Le long du vasard de Beychevelle, le chenal de GN coule sur une très faible épaisseur de dépôts quaternaires (0,7 m au 778-4-10) qui surmontent des marnes et marno-calcaires de l'Eocène supérieur.

Au PK 42 la zone éocène affleurante ou subaffleurante prend de l'importance et a été estimée à plus de 1,5 km de longueur; les sondages 778-1-29/30/32 rendent compte de cette extension (coupe 11). Les faciès marneux y sont les plus représentés dans les sondages de 1969.

Plus au sud au niveau de Fort-Médoc (PK39), une autre zone subaffleurante de calcaire marneux ou gréseux et d'argile indurée, caractérisant l'Eocène supérieur, s'étend sur 2,5 km de long (PK 40-PK 37,5). La terrasse ante-Flandrien du maximum de l'incision quaternaire se tient vers -35 à -28 NGF.

- Zone entre le PK 37 et le PK 33 (coupe 13)

C'est la zone de l'emprise de l'anticlinal de Blaye-Listrac qui comprend le secteur de Lamarque. La limite entre les faciès détritiques et les faciès calcaires de l'Eocène moyen remonte au niveau de l'axe anticlinal à -27 NGF en moyenne (42 m de profondeur au sondage 779-1-6 de Lamarque). Les grès éocènes sont puissants de 60 m dans cette zone pour 40 m environ de calcaire. Le fond de l'estuaire repose toujours sur des argiles flandriennes plus ou moins épaisses, sauf sur une bande de 1,7 km le long du chenal de GN entre Fort Médoc et le Grand Pré Neuf où les sondages 779-1-69 et 70 ont recoupé, à partir de -8 m sous étiage, des calcaires assez durs bioclastiques.

Moins d'un mètre d'argile et de vases les recouvrent par endroits (779-1-70). Le talus d'érosion est là aussi très marqué, le sondage 779-1-71 n'ayant pas touché les calcaires à -11,5 m sous étiage (fig. 35). Les terrasses d'alluvions ont été traversées à -9 et -19 NGF. Le niveau profond est estimé à -26 NGF, soit très proche du toit de l'Eocène moyen détritique.

- Zone entre le PK 33 et le PK 25 (coupes 14, 15, 16)

Au sud de l'axe anticlinal de Blaye-Listrac, la partie amont de l'estuaire se trouve sur des terrains éocènes de plus en plus récents, Eocène moyen calcaire jusqu'au PK 31 et Eocène supérieur à Oligocène en amont.

A l'est, l'Eocène moyen calcaire est puissant de 40 à 50 m (sondages de Soussans et Roque de Thau) alors que la partie grés-sableuse s'épaissit à 80 m (Roque de Thau 779-5-6). A l'ouest, le sondage de Castelnau de Médoc a traversé 170 m de calcaire marneux et celui d'Avensan (778-8-37) plus de 90 m de calcaire fossilifère.

Le fond de l'estuaire coule sur les argiles et vases flandriennes dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 m. A l'amont du PK 28, les terrains éocènes s'enfoncent nettement vers le sud-est.

La coupe 16 illustre cette géométrie liée au jeu de la faille de Roque de Thau (fig. 38). Cet accident abaisse les calcaires bioclastiques de l'Oligocène du Bourgeais jusqu'à -20 NGF environ. Le toit du réservoir calcaire de l'Eocène moyen est repoussé à -30 NGF en moyenne sous l'emprise de l'estuaire. La nappe éocène captive est alors protégée dans ce secteur par toute l'épaisseur de l'Eocène supérieur (estimée à 30 m environ en totalité) sur au moins 10 m auxquels s'ajoutent 10 à 15 m de terrains quaternaires.

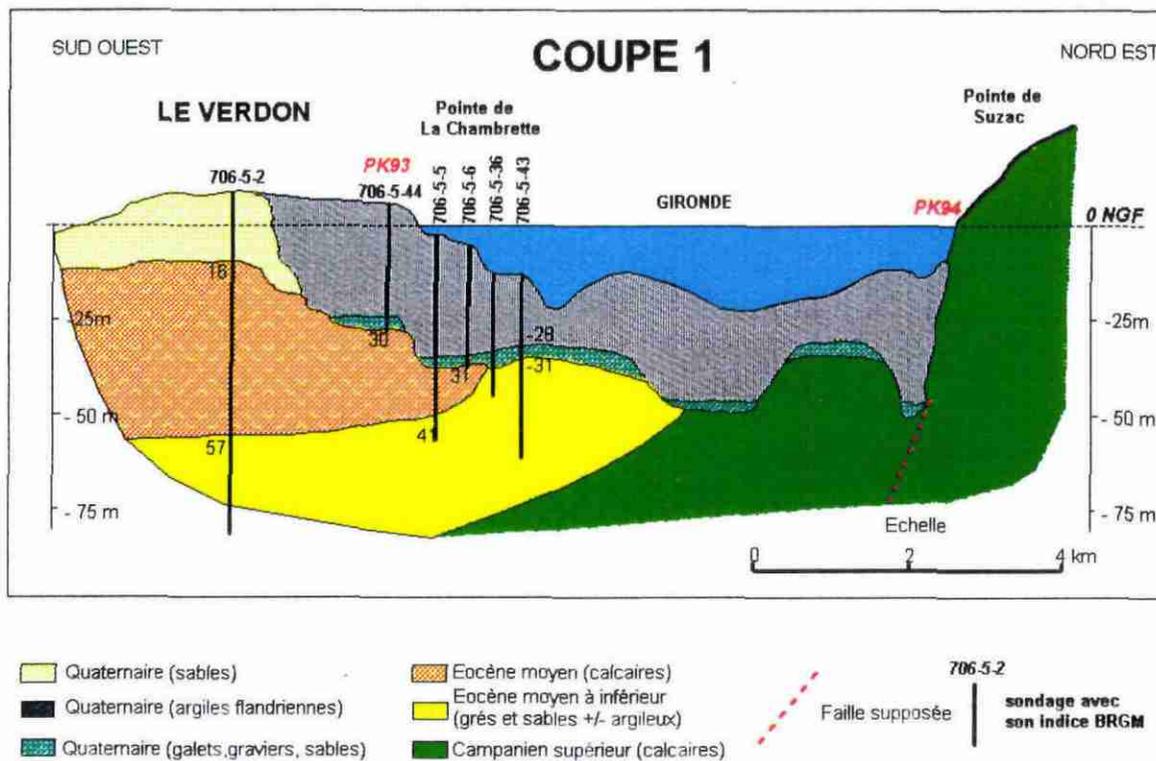


Fig.15 - Coupe géologique 1 transversale à l'estuaire de la Gironde au niveau du Verdon (PK 93)

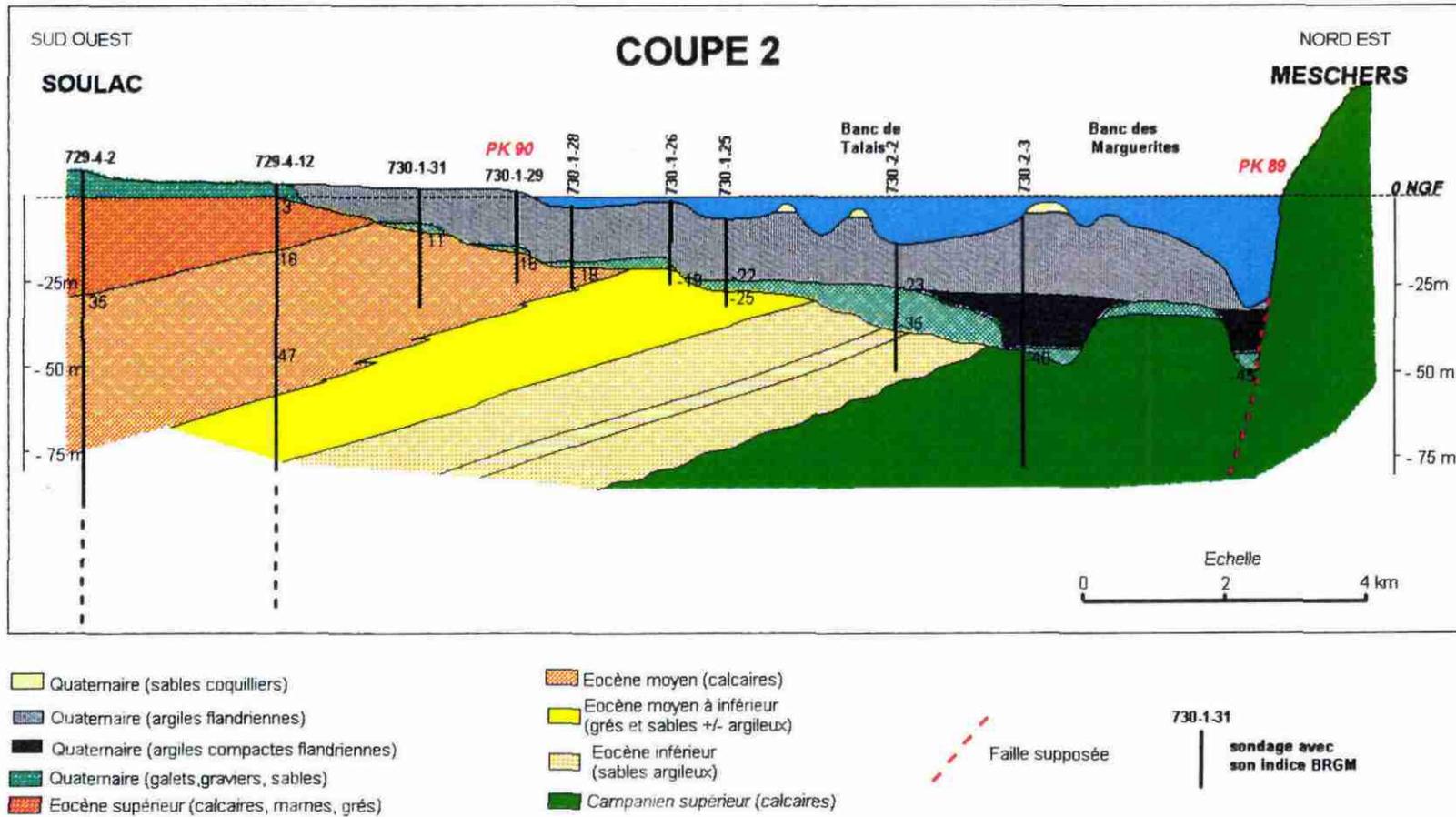


Fig.16 - Coupe géologique 2 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Soulac et Meschers au niveau du PK 90

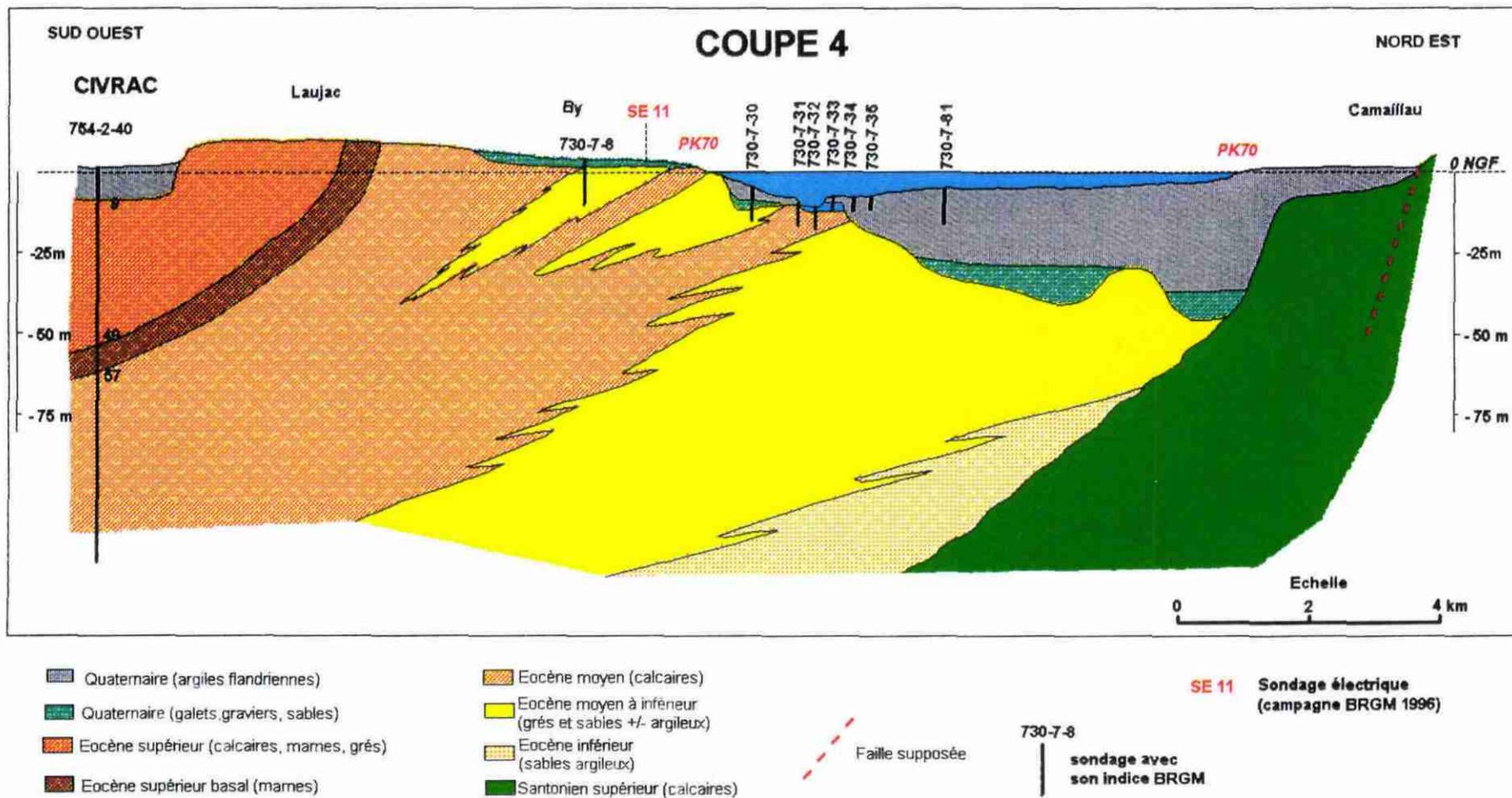


Fig.18 - Coupe géologique 4 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Civrac et Camaillau au niveau du PK 70

Département : Gironde
Commune : St Christoly de Médoc

0754-3X-0018

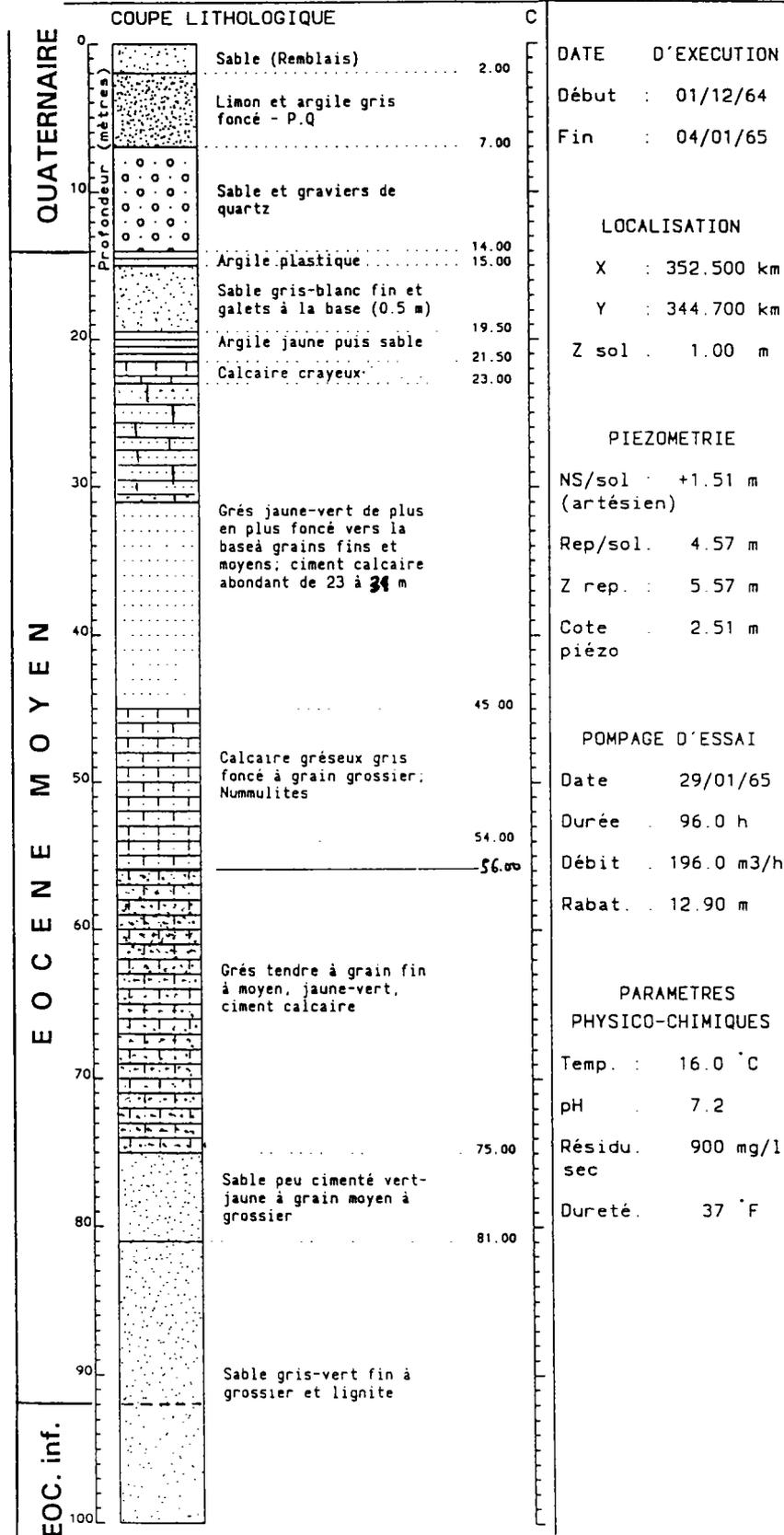


Fig.20 - Coupe du sondage de St-Christoly (754- 3- 18)

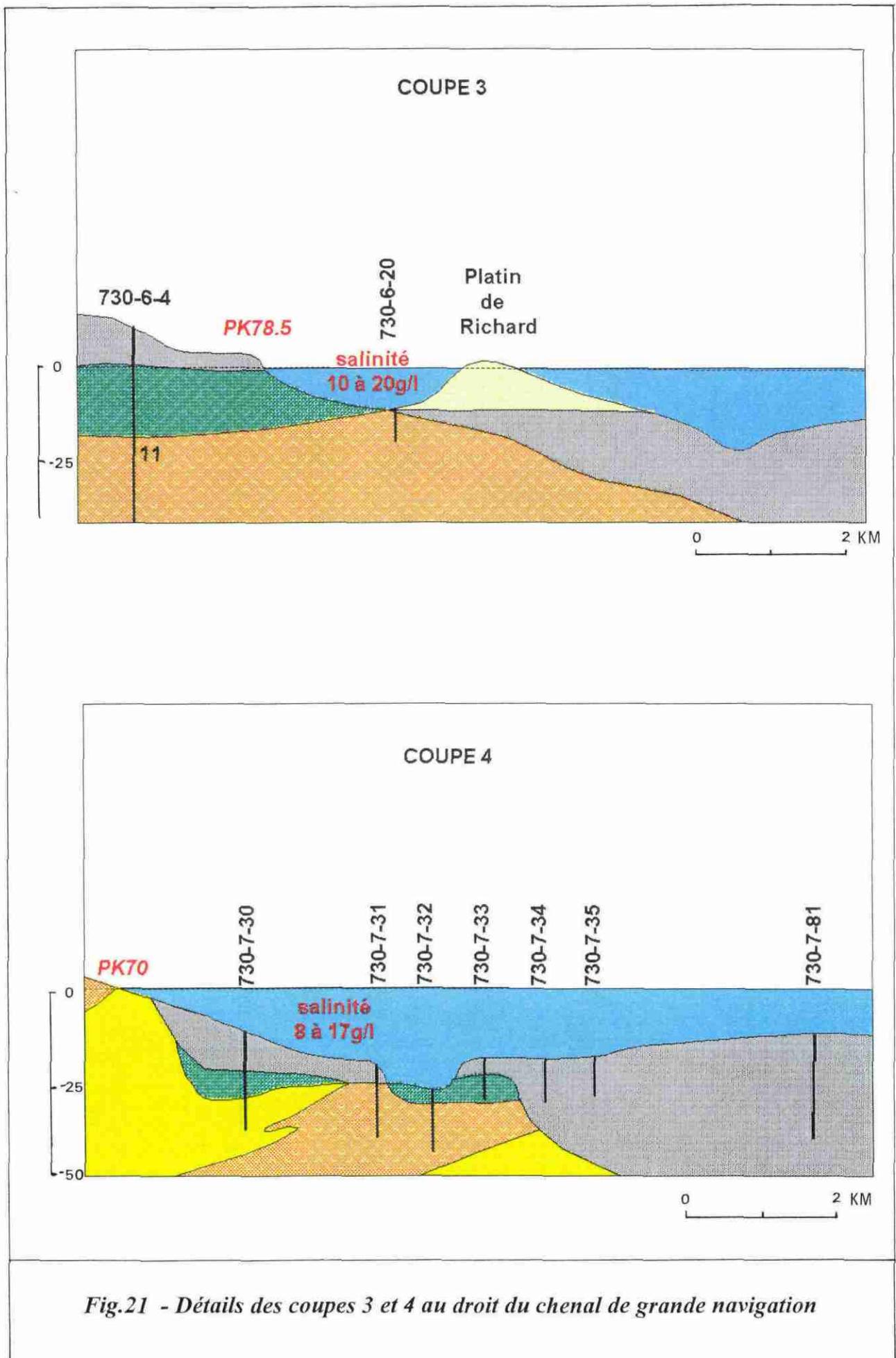


Fig.21 - Détails des coupes 3 et 4 au droit du chenal de grande navigation

PORT AUTONOME de BORDEAUX

Sondage N° 11 - 730.6.20 x = 346 070

y = 52 930

z = -4,90
rapporté au zéro de l'étiage

Date d'exécution 12.3.1969

Cote en m	Profondeur en m	Coupe lithologique	N° des échantillons	Couleur	Sable fin 0,25 mm		Gros sable 0,25 à 2 mm		Faune		Flore	Observations
					> 50%	< 50%	> 50%	< 50%	Macrosc.	Microsc.		
-4,90	0		1	5Y 3/4	> 50%	< 50%	> 50%	< 50%	●			Niveau à grosses huîtres
-5,35	0,45		2	5Y 3/4	> 50%	< 50%	> 50%	< 50%	●			niveau à huîtres dans une argile sableuse
-5,90	1,00		3	5Y 8/1					●			Blocs de calcaire assez friable dans une marne consistante
-6,70 -6,85	1,90 1,95		4	5Y 9/1					●			Calcaire dur à mioles

PORT AUTONOME de BORDEAUX

Sondage N° 57 - 730.7.31 x = 351 140

y = 48 950

z = -5,85
rapporté au zéro de l'étiage

Date d'exécution 1.3.1969

Cote en m	Profondeur en m	Coupe lithologique	N° des échantillons	Couleur	Sable fin 0,25 mm		Gros sable 0,25 à 2 mm		Faune		Flore	Observations
					> 50%	< 50%	> 50%	< 50%	Macrosc.	Microsc.		
-5,85	0		1	2,5Y 4/4	> 50%	< 50%	> 50%	< 50%	●			Argile molle laminee avec fines passées sableuse
-6,75	0,90		2	5Y 8/2 (calcaire) or N 15 (argile)						●		Mélange de blocs calcaires et d'argile Calcaire bioclastique à microfaune abondante
-8,05	2,20		3	5Y 8/2						●		Calcaire gréseux très tendre à passées plus dures mioles abondantes
-11,35	5,50											Lentilles argileuses plus indurées

Fig. 22 - Coupes de sondages géotechniques de reconnaissance du chenal au niveau des coupes 3 et 4 (Campagne ARMOR - PAB - 1969)

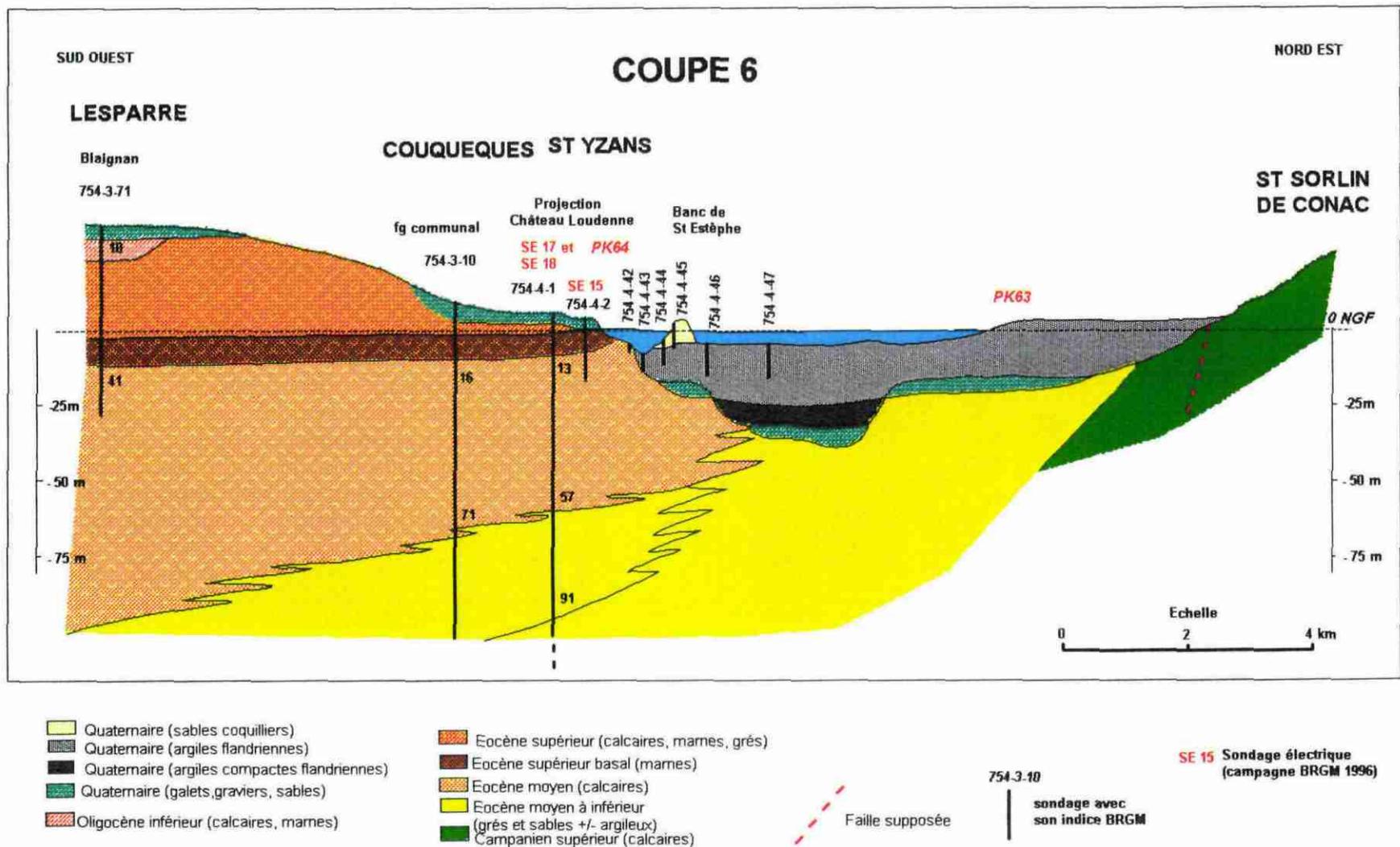


Fig. 23- Coupe géologique 6 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Yzans de Médoc et St-Sorlin de Conac au niveau du PK 64

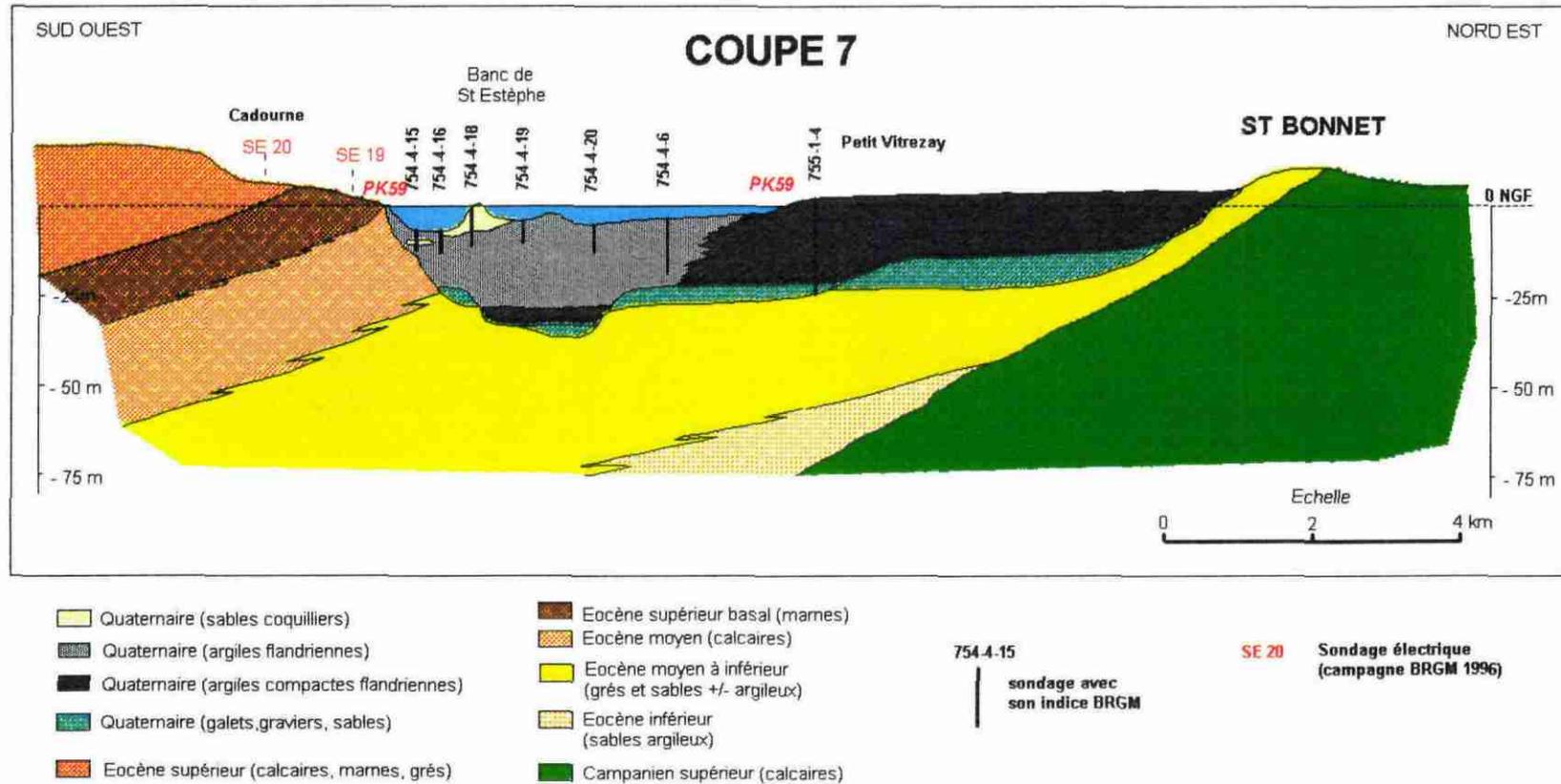


Fig.24 - Coupe géologique 7 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Seurin de Cadourne et St-Bonnet au niveau du PK59

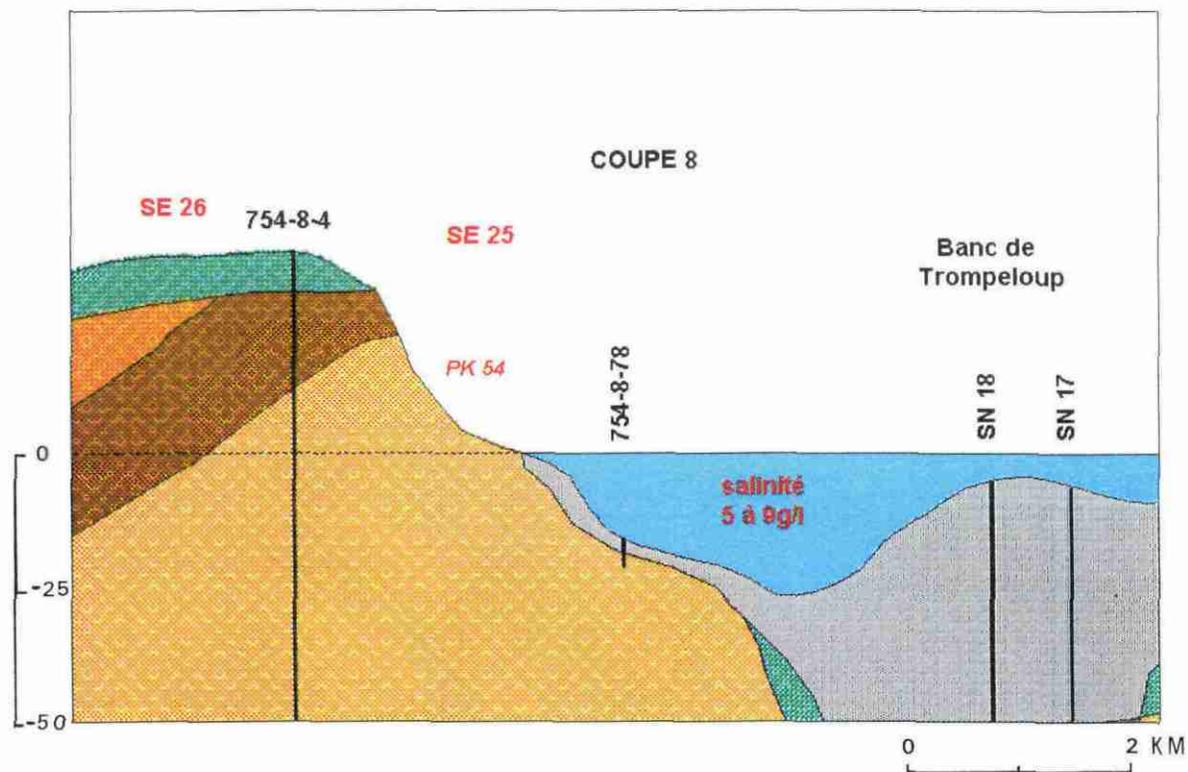
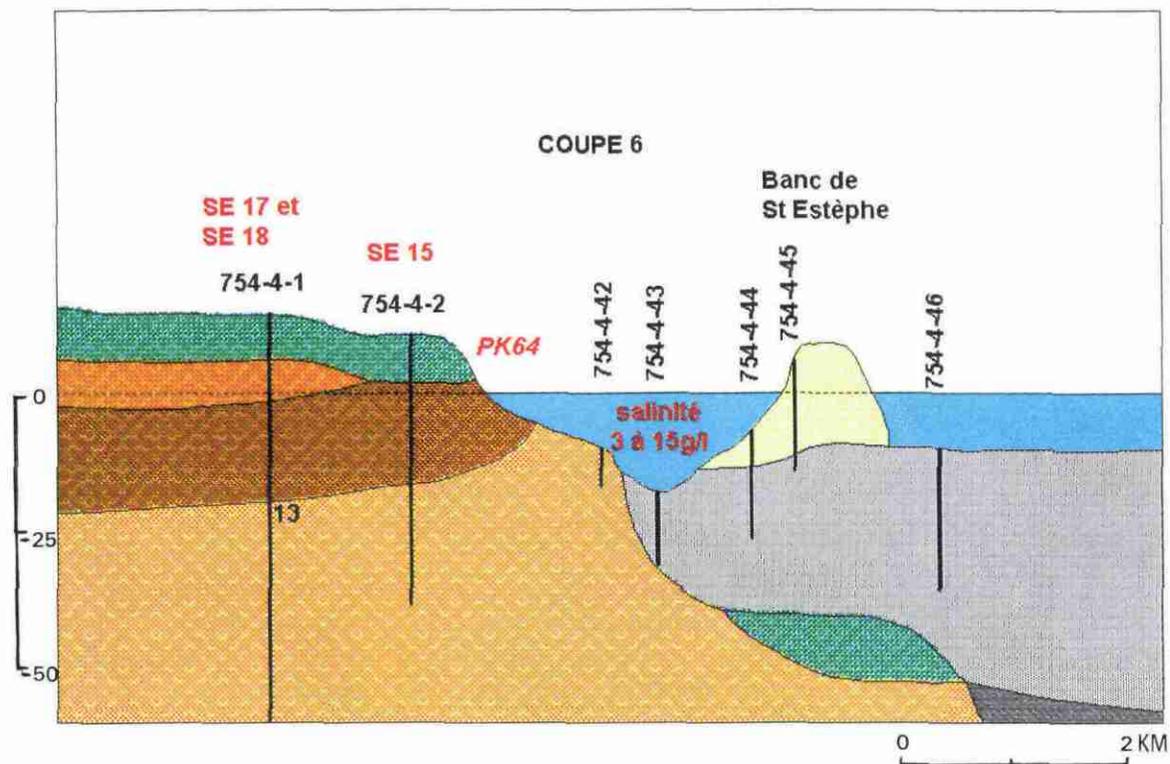


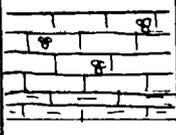
Fig.26 - Détails des coupes 6 et 8 au droit du chenal de grande navigation

PORT AUTONOME de BORDEAUX

Sondage N°113- 754.4.42 x = 354 790
z = -4,30
rapporté au zéro de l'étiage

y = 42 530

Date d'exécution 17.2.1969

Cote en m	Profondeur en m	Coupe lithologique	N° des échantillons	Couleur	Sable fin < 0,25 mm		Gros sable 0,25 à 2 mm		Faune		Flore	Observations
					△ 50%	▽ 50%	△ 50%	▽ 50%	Macrosc.	Microsc.		
-4,30	0		1	254614 et 54511						●		Calcaire dur et marne à microfaune abondante et bioclastes

PORT AUTONOME de BORDEAUX

Sondage N°168- 754.8.78 x = 357 625
z = -5,88
rapporté au zéro de l'étiage

y = 333 445

Date d'exécution 10.2.1969

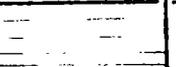
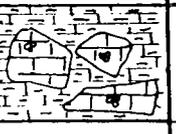
Cote en m	Profondeur en m	Coupe lithologique	N° des échantillons	Couleur	Sable fin < 0,25 mm		Gros sable 0,25 à 2 mm		Faune		Flore	Observations
					△ 50%	▽ 50%	△ 50%	▽ 50%	Macrosc.	Microsc.		
-5,88	0		1	254512								vase
-6,28	0,40		2	54511 (marne) 54712 (calcaire)						●		blocs de calcaire durs noyés dans des niveaux marneux

Fig. 27 - Coupes de sondages géotechniques de reconnaissance du chenal
au niveau des coupes 6 et 8 (Campagne ARMOR - PAB - 1969)

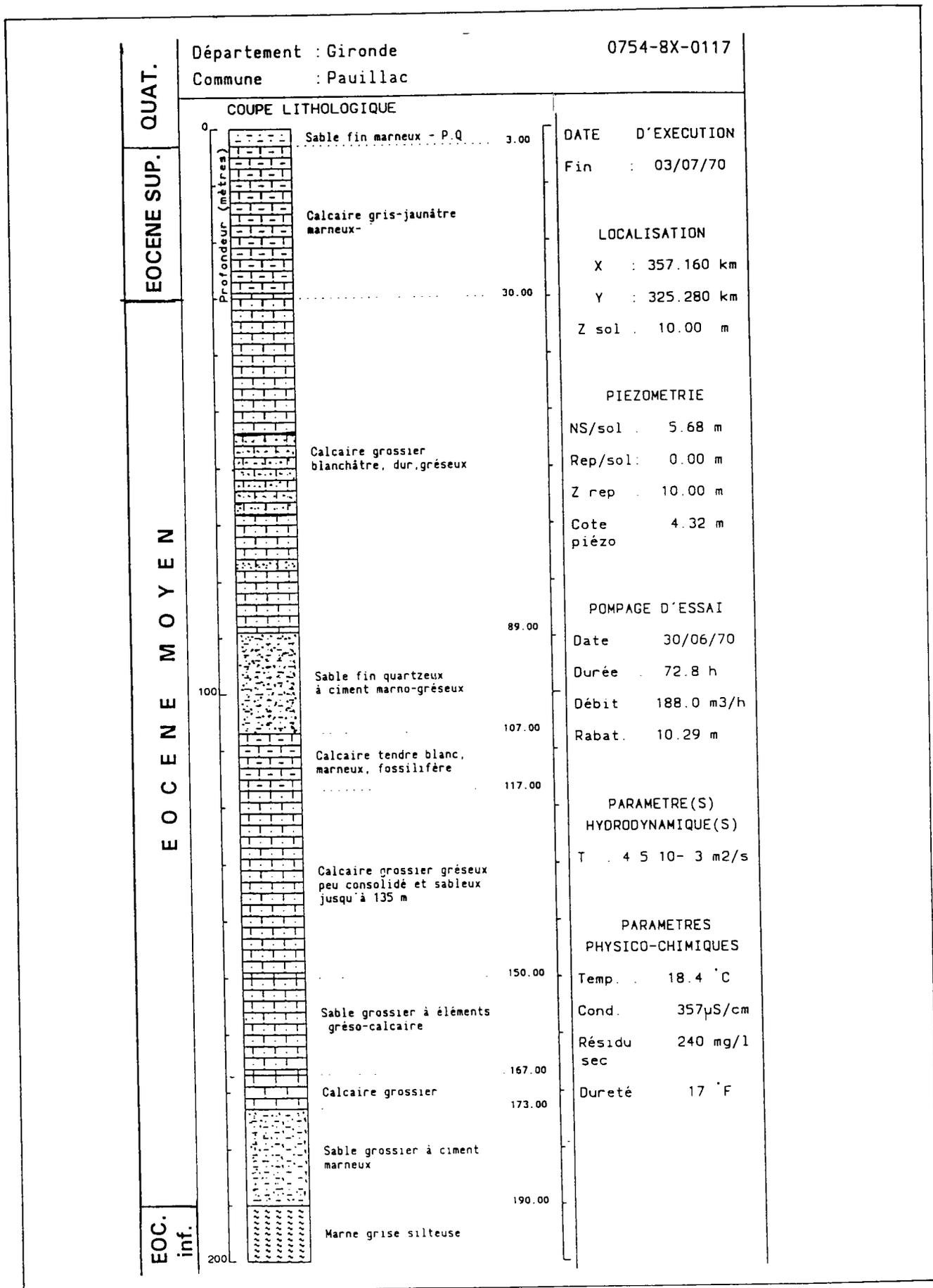


Fig. 29 - Coupe du sondage de Pauillac (754-8-117)

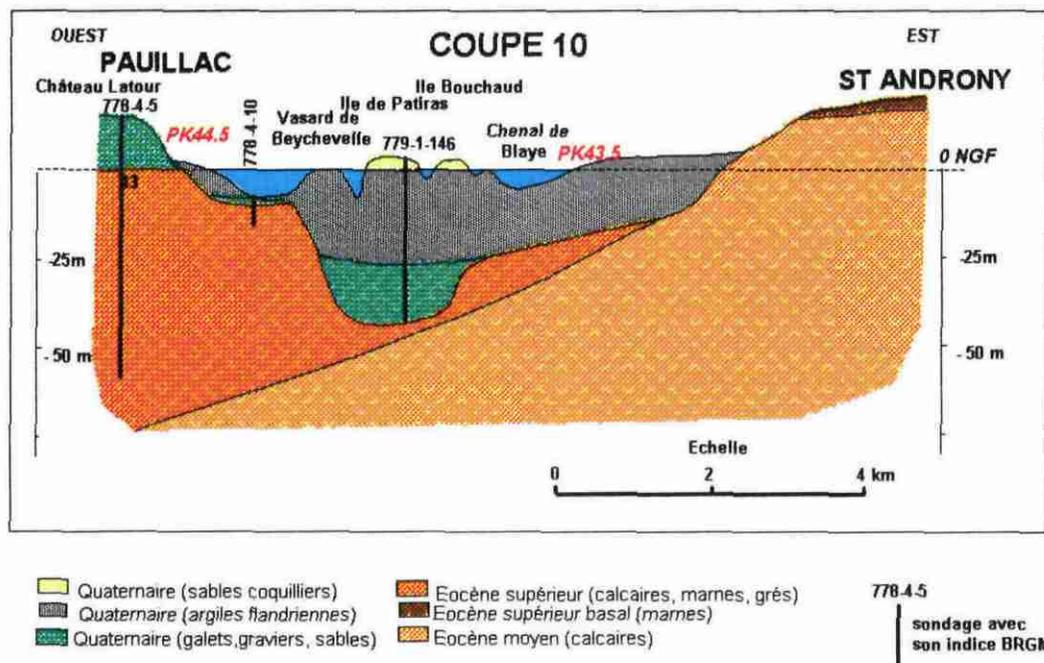


Fig.30 - Coupe géologique 10 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Pauillac et St-Androny au niveau du PK44,5

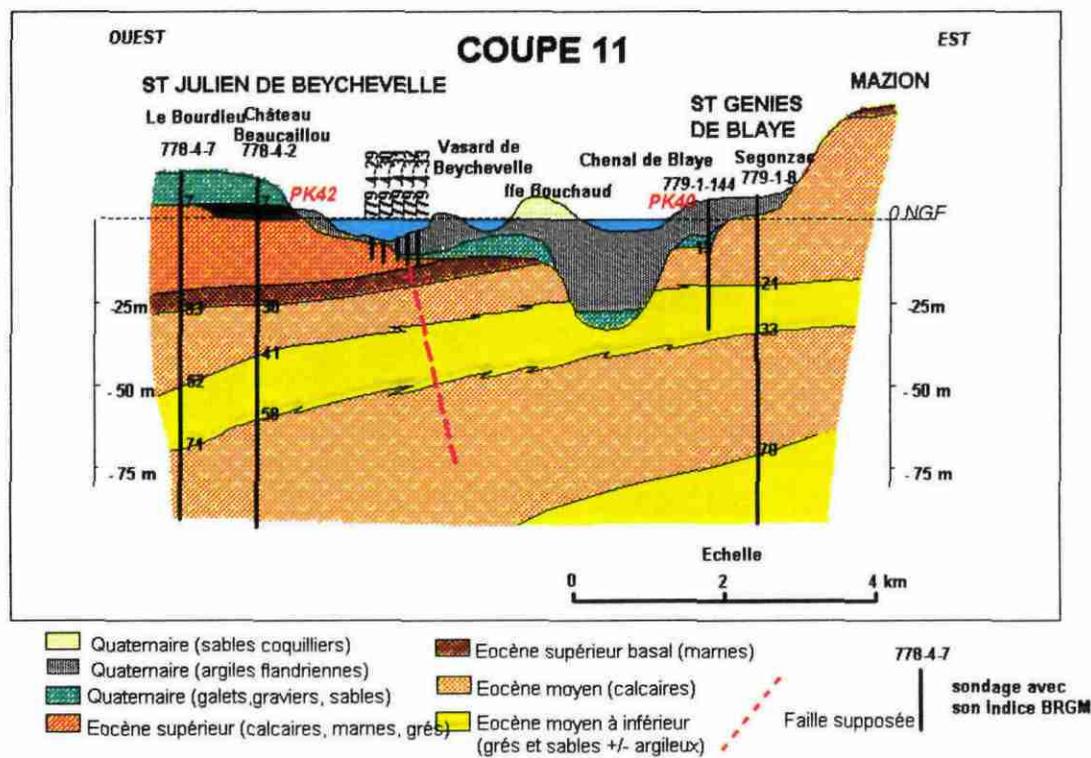
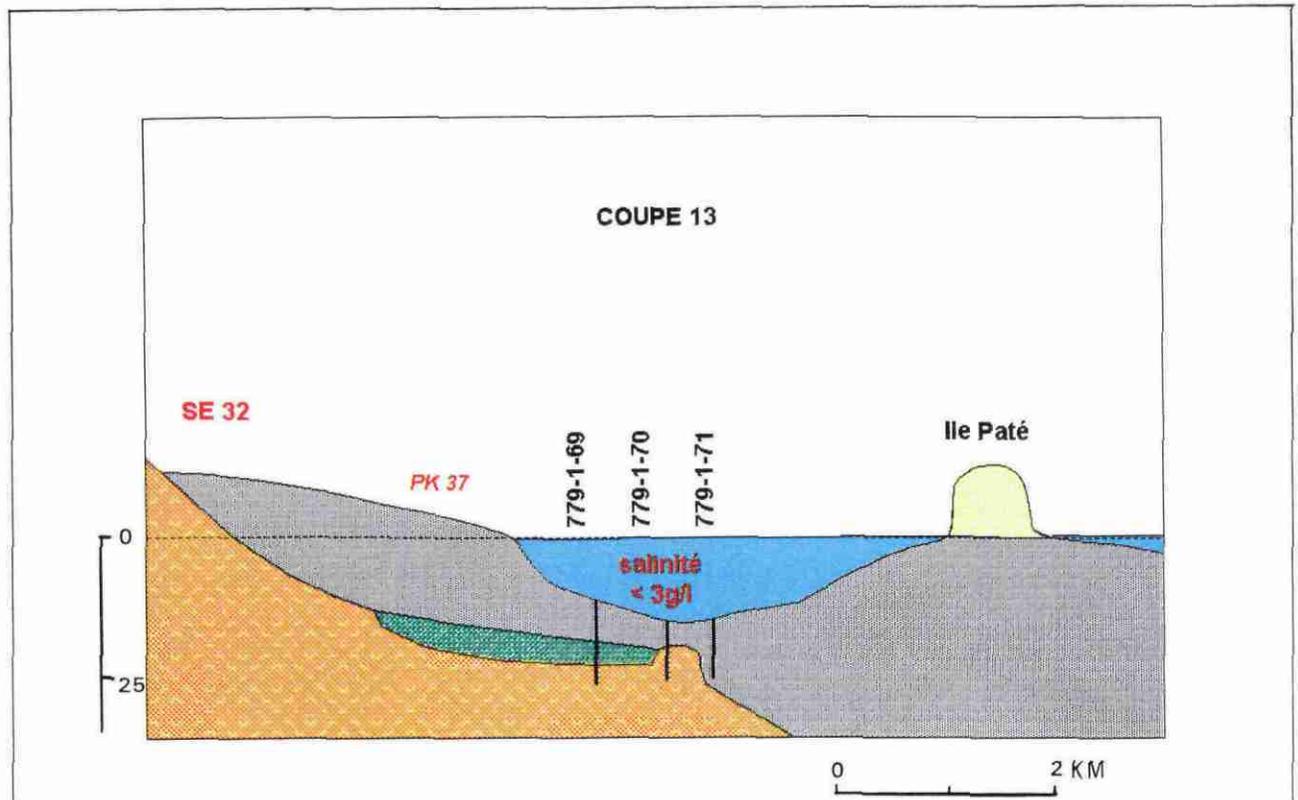


Fig.31 - Coupe géologique 11 transversale à l'estuaire de la Gironde entre St-Julien et St-Genies de Blaye au niveau du PK 42



PORT AUTONOME de BORDEAUX

Sondage N° 266-779.1.70 x = 361 770

y = 316 780

z = -6,72
rapporté au zéro de l'étiage

Date d'exécution 16 - 1 - 1969

Cote en m	Profondeur en m	Coupe lithologique	N° des échantillons	Couleur	Sable fin 0,25 mm		Gros sable 0,25 à 2 mm		Faune		Flore	Observations
					> 50%	< 50%	> 50%	< 50%	Macrosc.	Microsc.		
-6,72	0											
-7,42	0,70		1	5Y 5/2								Vase à laminations fines soulignée par des micas
			2	5Y 4/4								arrêt de sédimentation avec érosion
												Vase laminée
-8,07	1,35		3	5Y 7/1								galets emballés dans une marne
-8,22	1,50		4	5Y 7/1								Calcaire dur microcristallin
-8,42	1,70											

Fig. 35 - Détails de la coupe 13 au droit du chenal de grande navigation et coupe de sondage géotechnique de reconnaissance du chenal (Campagne ARMOR - PAB - 1969)

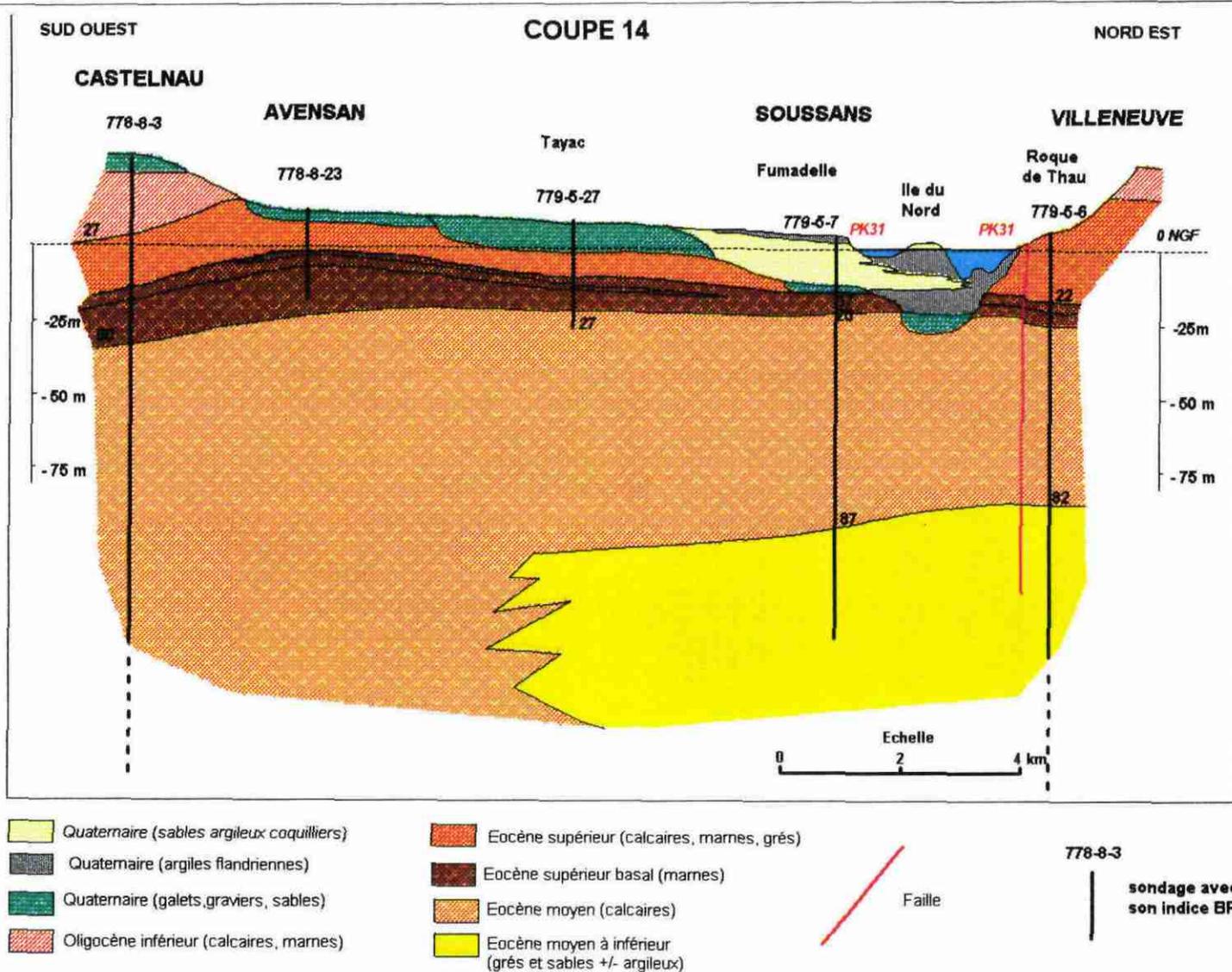


Fig.36 - Coupe géologique 14 transversale à l'estuaire de la Gironde entre Castelnau-Médoc et Roque-de-Thau au niveau du PK 31

4.5. APPORTS DE LA CAMPAGNE DE GEOPHYSIQUE ELECTRIQUE

La campagne géophysique s'est déroulée sur le terrain du 11 au 29/11/1996. Elle a été effectuée par le Département Géophysique Appliquée du BRGM. La zone prospectée se situe juste en bordure de la rive gauche de l'estuaire de la Gironde sur 47 km de long.

L'objectif était de déterminer la résistivité et la profondeur des calcaires de l'Eocène moyen et des faciès détritiques de l'Eocène moyen et inférieur, qui constituent le réservoir. .

4.5.1. Mise en oeuvre de la campagne

Il a été effectué **33 sondages électriques** avec des longueurs de ligne AB variant de 1000 à 2 000 m. Les sondages électriques (SE) ont été disposés au mieux par rapport au projet initial déterminé par l'interprétation géologique en tenant compte des contraintes inhérentes au terrain: accessibilité, obligation d'éviter l'ancien oléoduc qui relie le port du Verdon à Pauillac.

Ils sont alignés selon deux profils qui s'étirent le long de l'estuaire à une distance comprise entre 100 m et 1000 m, entre le PK 80 et le PK 52 pour le profil nord, qui s'étend du Phare de Richard à la raffinerie de pétrole de Pauillac, et entre le PK 39 et le PK 33 pour le profil sud qui s'étend de part et d'autre de Lamarque (planche3).

Les moyens utilisés comprenaient:

un résistivimètre Syscal R2E, un convertisseur, un groupe électrogène, un ordinateur Toshiba T3100SX, une imprimante HP Thinkjet et le logiciel d'interprétation GRIVEL.

4.5.2. Sondages électriques d'étalonnage

Pour aider à caler les horizons électriques par rapport à la stratigraphie et plus particulièrement à déterminer la résistivité des faciès détritiques qui constituent le réservoir aquifère, **9** sondages électriques ont été réalisés à proximité (environ 150 à 1 500 m) de forages dont on connaît les coupes.

Du nord au sud, ce sont les forages suivants:

- **forage de Phare de Richard (730-6-4)**, 1 km au nord-nord-est du **sondage électrique 2** (fig. 39). La limite entre calcaire marneux et sable-grès est bien déterminée par le sondage électrique (environ 50 m). La résistivité des sables-grès est de 36 ohms.m, ce qui est faible pour ce type de faciès et pourrait laisser penser que l'eau est saumâtre. Des analyses dans le forage en 1963 avaient effectivement montré que l'eau était salée à près de 5 g/l, mais le forage se situe en bordure de la Gironde, alors que le sondage électrique se situe à 1 km à l'intérieur des terres. Les sables et

graviers de surface avec des résistivités inférieures à 5 ohms.m sont aussi imprégnés d'eau salée;

- **forage de By (730-7-8)** à 1,5 km au sud du **sondage électrique 10** (fig. 40). Les sables de surface à 6,5 ohms.m sont imprégnés d'eau salée. Le réservoir aquifère se situerait entre 75 et 130 m avec une résistivité de 200 ohms.m;
- **forage de St-Christoly (754-3-17)** à 600 m au sud-est du **sondage électrique 13** (fig. 41). Les alternances de sable, argile, calcaire gréseux et grès, décrites dans le sondage de 11 à 68 m, s'intègrent dans un terrain à 58 ohms.m.
- **forage de Laména (754-4-2)** 900 m au nord-est du **sondage électrique 15** (fig. 42). La base des alluvions de résistivité très faible (2 ohms.m) est certainement salée. Calcaire et marne s'intègrent dans un terrain à 10 ohms.m. Le forage de Laména n'est cependant pas suffisamment long pour identifier l'horizon électrique à 180 ohms.m entre 40 et 101 m. Le forage situé en bordure de la Gironde renfermait de l'eau salée à 4,7 g/l en 1962;
- **forage de St-Yzans - Château Loudenne (754-4-1)** à 400 m au sud du **sondage électrique 17** (fig. 43). Les argiles de surface à 1,3 ohms.m sont certainement salées. Dans la remontée de la courbe du sondage électrique, on distingue les calcaires argileux (30 ohms.m) des sables et grès sous-jacents (180 ohms.m). Le dernier terrain calcaire pourrait être imprégné d'eau salée, compte tenu de sa faible résistivité (10 ohms.m);
- **forage de St-Estèphe - Château Meney (754-8-4)** à 600 m au sud-ouest du **sondage électrique 25** (fig. 44). Le sondage électrique se situe 10 m plus bas que le forage. Le terrain à 1 ohm.m correspondrait donc à ce niveau à du calcaire avec de l'eau salée. Ce forage, seulement profond de 50 m, ne recoupe pas de faciès détritiques. Le terrain à 250 ohms.m correspond à des calcaires. Il y aurait une possibilité d'invasion d'eau salée à partir de 58 m (terrain à 5 ohms.m);
- **forage de St-Estèphe - Font Petite (754-8-116)** à 1 300 m au sud-ouest du **sondage électrique 26** (fig. 45). Les résistivités du sondage électrique permettent de distinguer les calcaires (60 ohms.m) des calcaires gréseux et sables (270 ohms.m). Ce sondage électrique se situe dans les vignobles où les graviers ont une résistivité de 340 ohms.m;
- **forage de Cussac (778-4-32)** à 150 m à l'ouest du **sondage électrique 28** (fig. 46). Ce forage ne recoupe pas de faciès détritiques. Les huit premiers mètres sont certainement salés. Le sondage électrique distingue des calcaires argileux (36 ohms.m) de calcaires francs (250 ohms.m). Le dernier terrain à 26 ohms.m pourrait être un calcaire marneux ;
- **forage de Lamarque (779-1-6)** à 700 m à l'ouest du **sondage électrique 32** (fig. 47). Le terrain à 150 ohms.m intègre à la fois des calcaires et des sables ou grès. A partir de

90 m, le terrain à 50 ohms.m correspond à une alternance d'argile, de sable argileux et de calcaire.

En résumé, ces neuf sondages électriques, bien représentatifs de l'ensemble de la campagne géophysique sur les deux secteurs étudiés, mettent en évidence la succession-type suivante :

- un terrain de surface d'environ 10 ohms.m (terre végétale argileuse) dans le marais. Lorsque le sondage électrique a été fait sur les terrasses de graviers, ce premier terrain présente une résistivité de 100 à 300 ohms.m ;
- un terrain très conducteur (argiles et sable argileux, marnes ou calcaires).
- un ensemble se traduisant par une remontée de la courbe du sondage électrique qui se décompose en général en deux terrains, dont un de résistivité intermédiaire (30 à 80 ohms.m) et un deuxième terrain résistant (de 90 à 200 ohms.m). Le réservoir éocène se situe dans cet horizon résistant qui englobe à la fois des calcaires et des sables ou grès. Dans le cas le plus favorable (SE 26 et 17), on détermine le toit et le mur des faciès détritiques résistants.
- un terrain conducteur profond de 10 à 50 ohms.m, mis en évidence par les dernières mesures qui amorcent une chute de résistivité. Les valeurs de résistivité à 10 ohms.m ou moins pourraient correspondre à des zones envahies par l'eau salée. Généralement le conducteur profond n'est déterminé que sur l'amorce de la descente observée sur la plupart des courbes de sondage.

4.5.3. Coupes profondeur

Les résultats sont présentés sous forme de coupes profondeur à deux échelles verticales différentes, dont une à 1/500 pour détailler les 20 premiers mètres et une à 1/10 000 pour figurer les terrains profonds.

4.5.3.1. Profil nord. Coupe 1 du PK 80 au PK 52 (pl. 4)

Terrains superficiels. Les terrains de résistivité inférieure à 5 ohms.m correspondent soit à des couches très argileuses, soit à des milieux salés. De tels terrains se situent entre les SE 1 et 10, 15 et 21, 22 et 25 et à l'aplomb du 27. A l'aplomb des SE 3 et 5, les terrains argileux (ou l'éventuelle salinité) semblent se poursuivre en profondeur (terrains à 5 et 6 ohms.m, jusqu'à 22 et 33 m de profondeur). Les sondages électriques situés sur les terrasses (sondages 21bis et 26) mettent en évidence un terrain intermédiaire résistant (50 à 100 ohms.m) qui semble interrompre les niveaux conducteurs.

Terrains profonds. Les terrains à résistivités comprises entre 100 et 400 ohms.m sont considérés comme constituant un réservoir à terrains propres sans matrice argileuse et à eau douce, sachant que ces résistivités peuvent intégrer à la fois des calcaires, des calcaires gréseux, des sables et des grès. Cet ensemble résistant est détecté de façon continue entre les SE 9 et 11 et entre 14 et 27 avec interruption brutale à l'aplomb du SE 22 (variation de faciès vers des marnes ou possibilité d'invasion d'eau salée en profondeur).

Un horizon de résistivité intermédiaire peut s'intercaler entre le réservoir et les terrains conducteurs de surface (SE 17, 20, 21bis, 23, 26, 27). Entre les SE 12 et 14, ce terrain peut se développer au détriment du réservoir résistant et reposer directement sur le terrain profond conducteur (variation latérale de faciès ou infiltration d'eau saumâtre à partir de la surface). Entre les SE 24 et 25, la coupe met en évidence une **remontée du terrain résistant** à quelques mètres de la surface topographique. **Ceci confirmerait l'hypothèse géologique** d'une légère remontée anticlinale dans le secteur de St-Estèphe.

A l'extrémité nord du profil, les SE 1 à 9 ne montrent aucun terrain dont les résistivités soient compatibles avec un réservoir propre à eau douce. A l'aplomb des SE 5 et 6, un faciès plus marneux ou une invasion d'eau salée semble possible (résistivité faible sur une grande épaisseur). Ces deux sondages mettent en évidence un terrain résistant en profondeur, qui pourrait correspondre aux calcaires plus francs du Crétacé.

Le conducteur profond visible sur toute la coupe de ce profil nord présente des résistivités variant de 5 à 50 ohms.m; il est possible que les résistivités à 10 ohms.m ou au-dessous seraient associées à une invasion d'eau salée.

4.5.3.2. Profil sud. Coupe 2 du PK 39 au PK 33 (pl. 5)

Terrains superficiels. Les terrains de surface très conducteurs se situent aux extrémités nord et sud de la coupe à l'aplomb des SE 28, 29, 30 et 33; ils sont susceptibles d'être imprégnés d'eau salée

Terrains profonds. Le terrain résistant interprété comme réservoir propre à eau douce est subaffleurant aux SE 30, 31, 32 puis s'enfonce au nord et au sud. Cette géométrie confirme bien la position de l'anticlinal de Blaye-Listrac, le profil sud recoupant son axe orthogonalement près de Lamarque. Entre les SE 28 et 29, la base du terrain résistant remonte brusquement et s'amincit. Un accident est possible entre ces deux sondages, donc sur le flanc nord de la structure anticlinale.

Le conducteur profond ne présente pas de résistivité particulièrement faible. Le SE 30 se termine par une remontée de la courbe. Il est possible qu'on mette en évidence les calcaires du Crétacé (la remontée de la courbe étant à peine amorcée, la profondeur de 430 m est donnée à titre indicatif). Il ne semble pas qu'il y ait d'invasion d'eau salée en profondeur.

4.5.4. Comparaison des résultats avec les études antérieures

Il y a une trentaine d'années, deux études avaient été effectuées par la CGG concernant en partie la zone étudiée. Leur objectif était de reconnaître l'existence et l'extension de zones d'invasion d'eau salée ou saumâtre dans les formations plio-quaternaires et tertiaires (CGG, 1967 et 1969):

- **étude réalisée en décembre 67.** Elle comprend 58 sondages électriques à l'intérieur des terres du Médoc, entre Soulac-sur-Mer, St-Vivien-en-Médoc et Jau-Dignac-Loirac, ainsi que 5 sondages électriques disposés selon une ligne perpendiculaire à la Gironde, de St-Christoly à Couquèques.
Les résultats sont présentés sous forme de cartes d'isorésistivité en AB 140 m et 1 000 m et de 2 coupes profondeurs dont celle de St-Christoly à Couquèques qui s'intègre en partie dans la présente étude.

- **étude réalisée de novembre 68 à mars 69.** Avec plusieurs centaines de sondages électriques, elle concerne le littoral atlantique entre Soulac et Cazaux, la rive droite de la Gironde au nord de Blaye et la rive gauche de la Gironde entre Queyrac et Margaux. Dans cette dernière zone qui intéresse directement le secteur d'étude, les résultats sont présentés sous forme de cartes d'isorésistivité en AB 140 m et 1 000 m (annexe1), d'une longue coupe le long de la Gironde entre Jau-Dignac et Cussac (à 8 km au sud de Pauillac) et de quelques petites coupes perpendiculaires à la Gironde. Les sondages électriques situés dans la zone d'étude actuelle, dont les graphes sont figurés, sont au nombre de 5. Ce sont les sondages électriques 67 (entre les SE 5 et 6 de la présente étude), 69 (entre les SE 7 et 8), 59 (entre les SE 13 et 14), 92 (entre les sondages 17 et 18) et 105b (entre les SE 26 et 27). Ces sondages ont aidés à concevoir le programme de prospection.

Les **résultats** de ces deux campagnes soulignaient déjà des zones à risques d'invasion saline dans tout l'extrême nord du Médoc (où bien que ces anciens sondages électriques étaient assez éloignés de la rive, les courbes amorçaient une chute de résistivité), ainsi que près de Valeyrac - Port de Goulée et entre Laména et St-Seurin-de-Cadourne. A signaler aussi les faibles résistivités au voisinage des SE 27 et 29 de la présente campagne. **Les zones à faibles résistivités révélées en profondeur par les SE 20 à 23 et 25 à 27 sont moins évidentes dans les anciennes prospections CGG.**

4.5.5. Synthèse des résultats géophysiques

Après étalonnage de neuf sondages électriques, les terrains du **réservoir de l'Eocène moyen ont été caractérisés par un ensemble électriquement résistant à résistivité moyenne comprise entre 100 à 400 ohms.m**, reposant sur un terrain conducteur. Cependant les calcaires et les grès ne peuvent pas toujours y être distingués.

L'interprétation de certains sondages électriques, non plus en termes de variation latérale de faciès vers des terrains plus argileux donc plus conducteurs, mais en termes d'*éventuelle invasion d'eau salée*, peut également être envisagée à titre d'hypothèse.

Dans les terrains profonds de la zone nord, une invasion est possible dans cette hypothèse au niveau des SE 5, 6, 17, 20, 21bis, 22, 23, 25. Pour la zone sud, les résistivités des terrains profonds ne mettent pas en évidence d'invasion salée.

Pour les *terrains superficiels*, les secteurs à risque d'invasion hypothétique, ou à eau salée fossile du Quaternaire (Flandrien), dans la zone nord se situeraient notamment entre les SE 1 à 9, 15 à 20, 22 à 25 et au niveau du 27. Dans la zone sud, les terrains très conducteurs de surface se situent entre les SE 28-29-30 et à l'aplomb du 33.

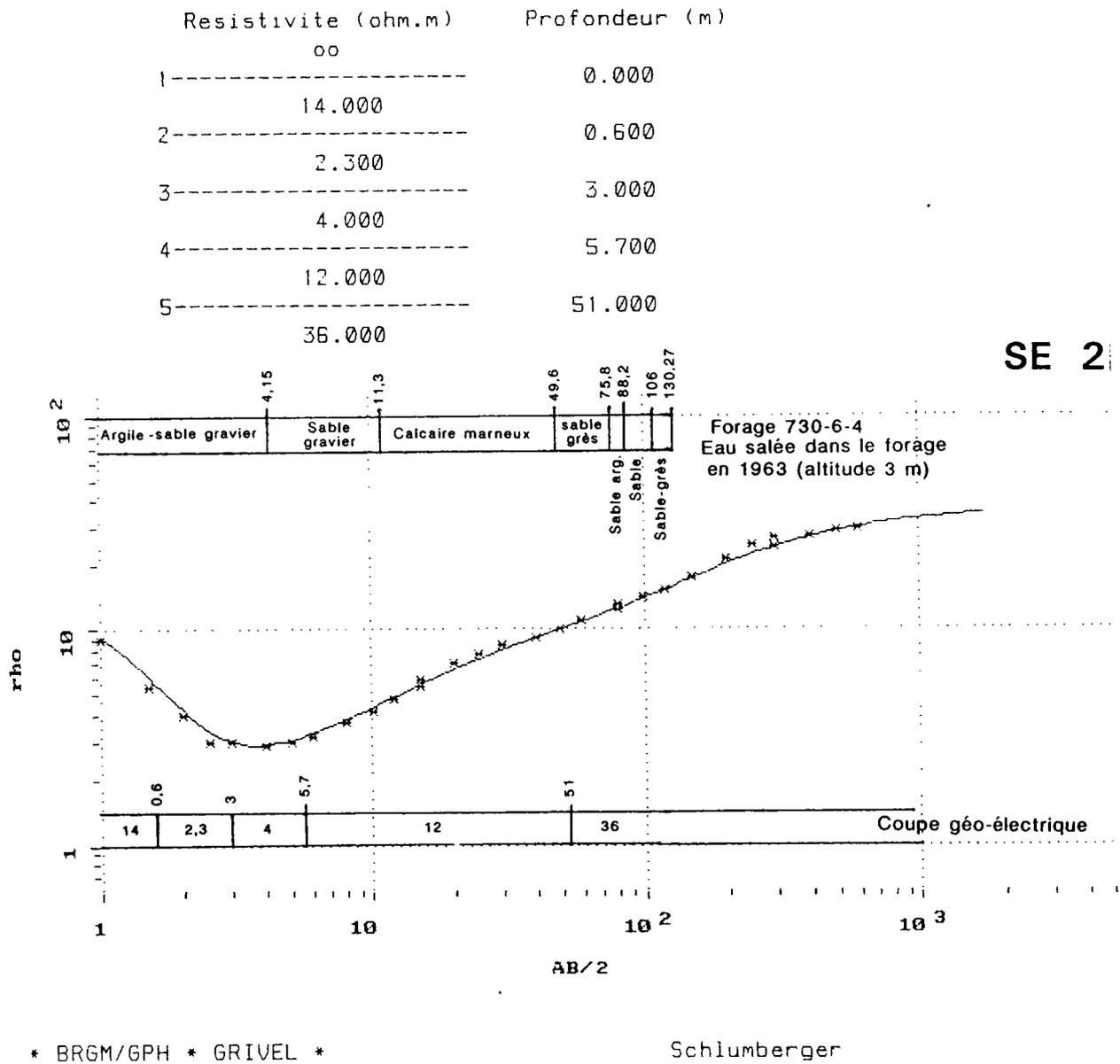


Fig. 39 - Sondage électrique d'étalonnage 2 sur forage 730-6-4.

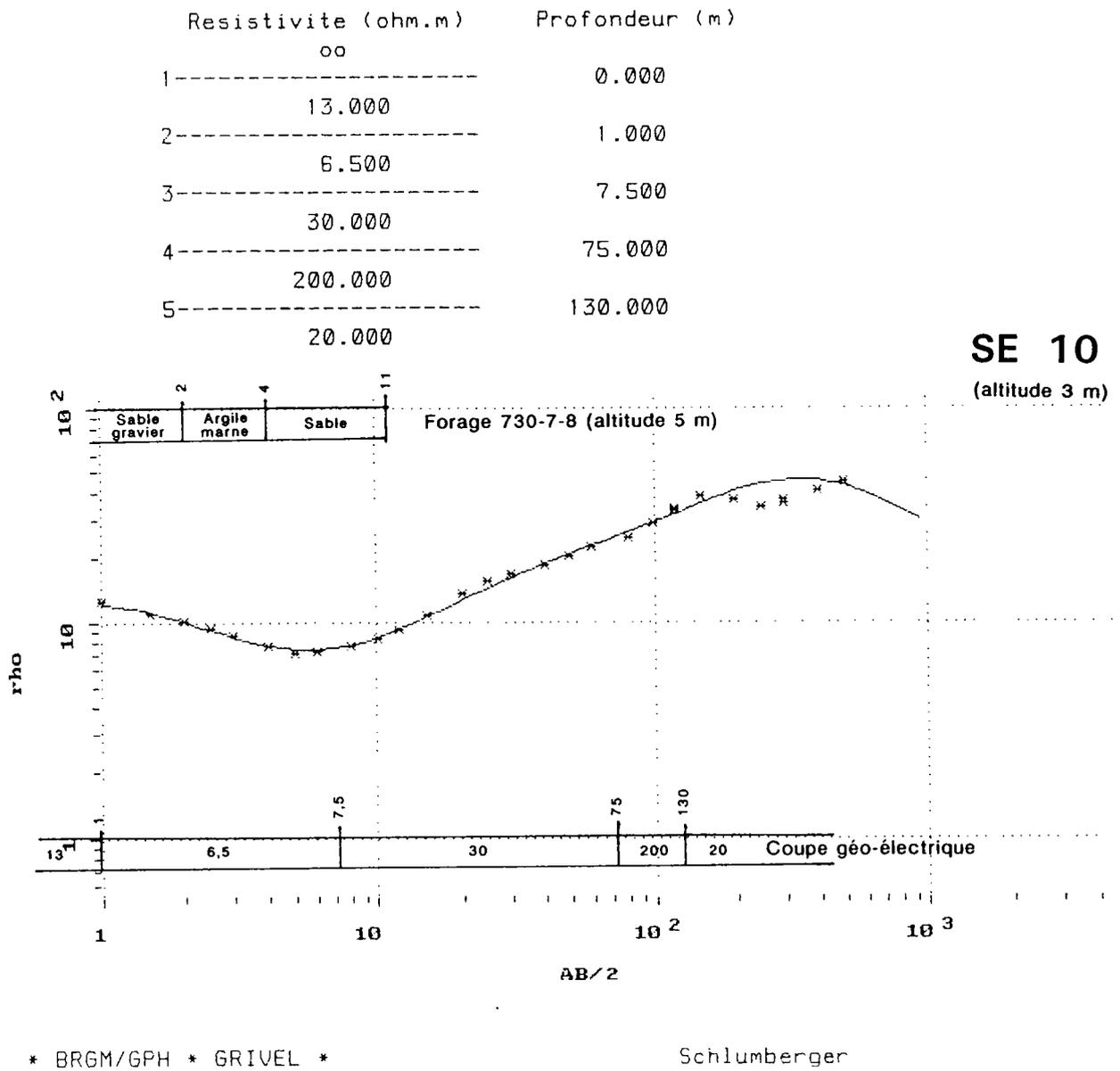


Fig. 40 - Sondage électrique d'étalonnage 10 sur forage 730-7-8.

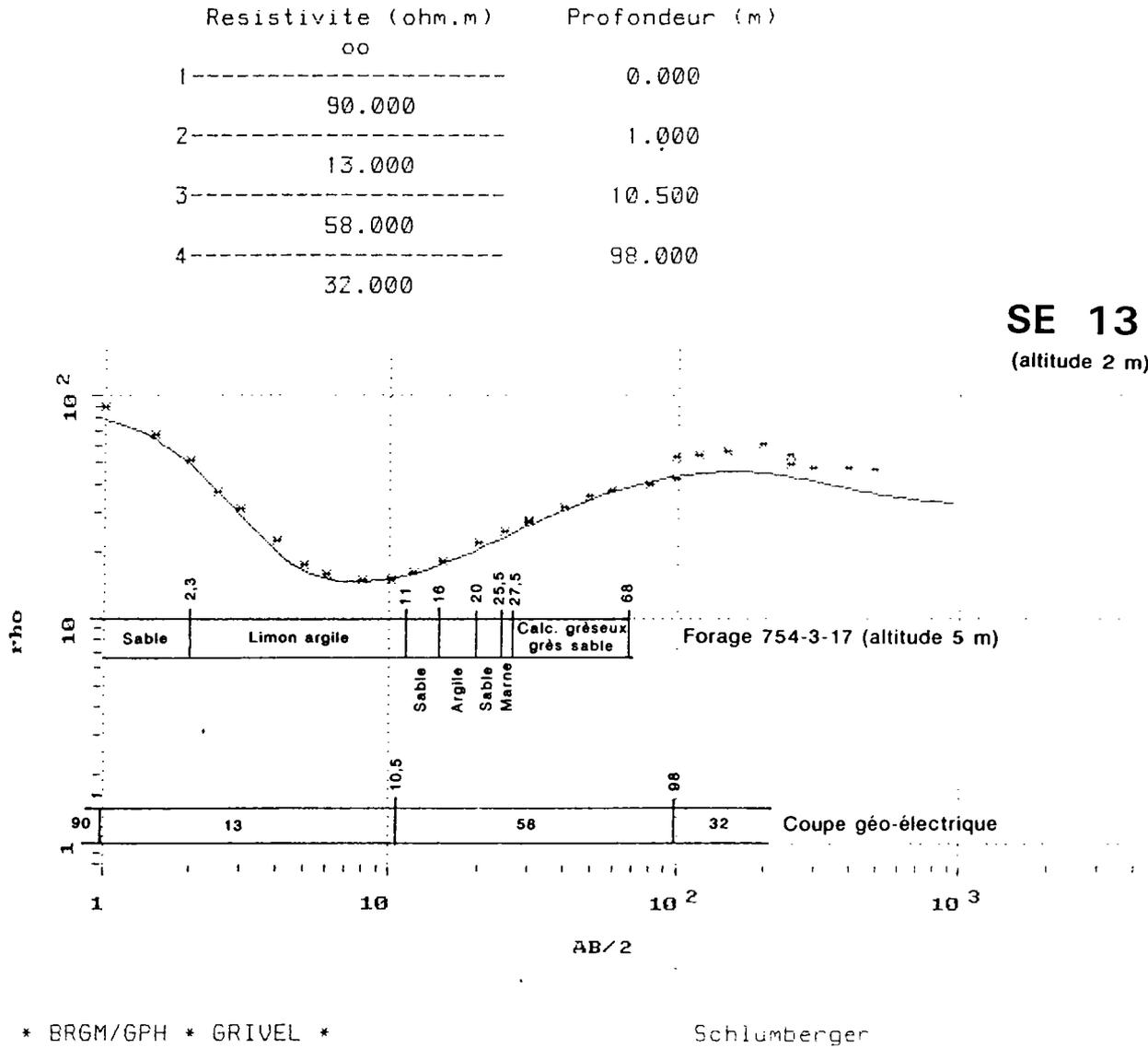


Fig. 41 - Sondage électrique d'étalonnage 13 sur forage 754-3-17.

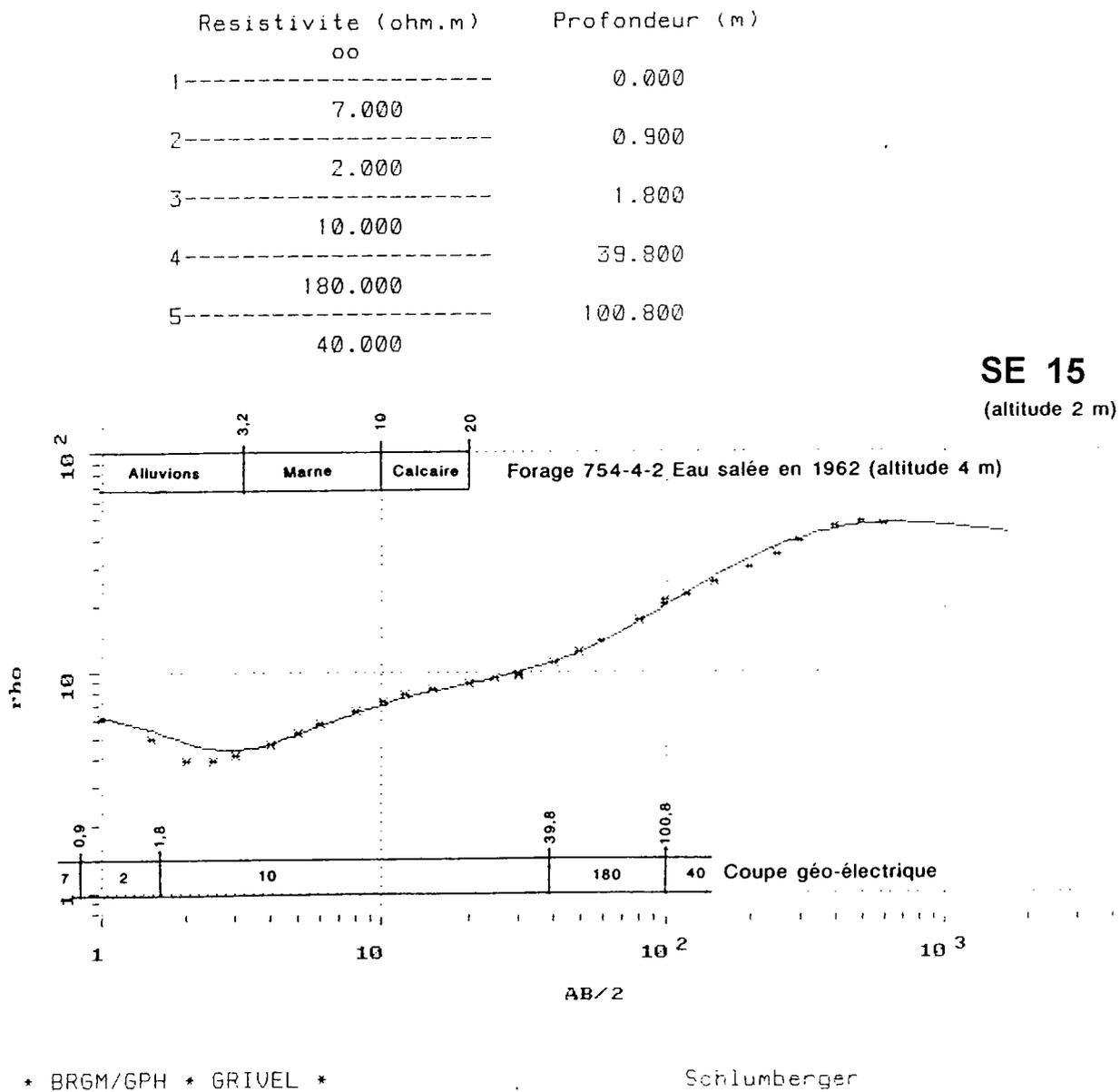


Fig. 42 - Sondage électrique d'étalonnage 15 sur forage 754-4-2.

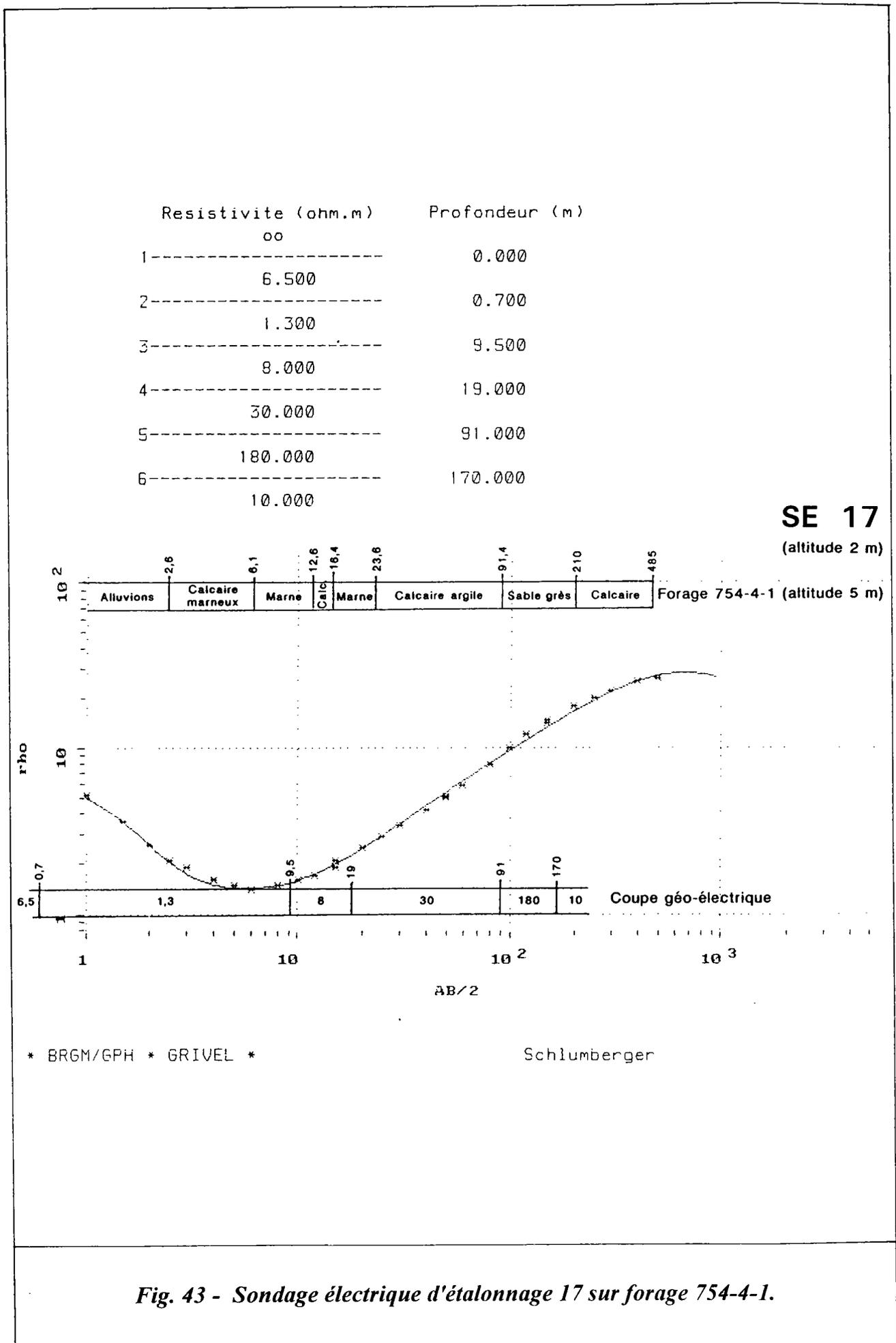


Fig. 43 - Sondage électrique d'étalonnage 17 sur forage 754-4-1.

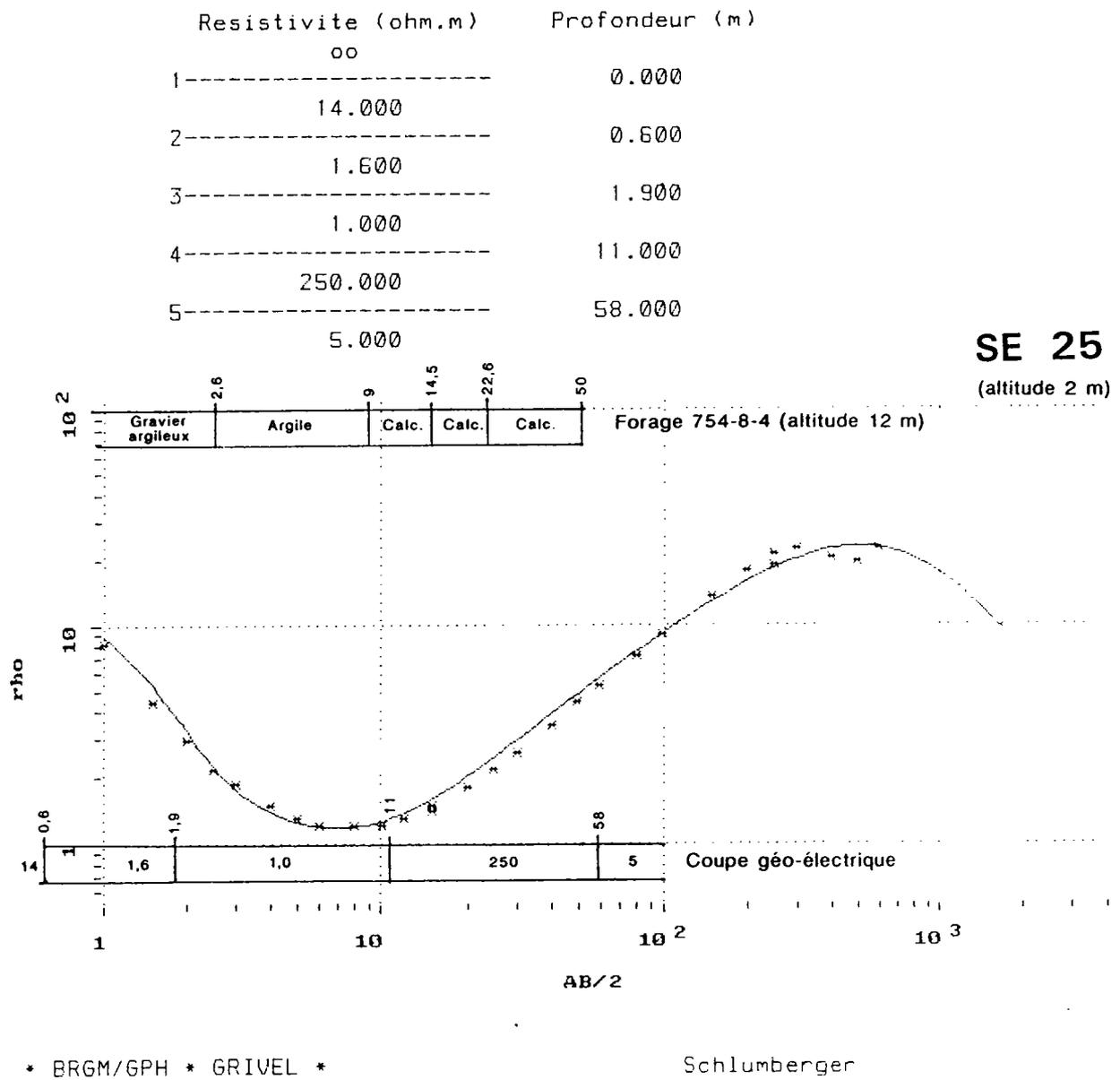


Fig. 44 - Sondage électrique d'étalonnage 25 sur forage 754-8-4.

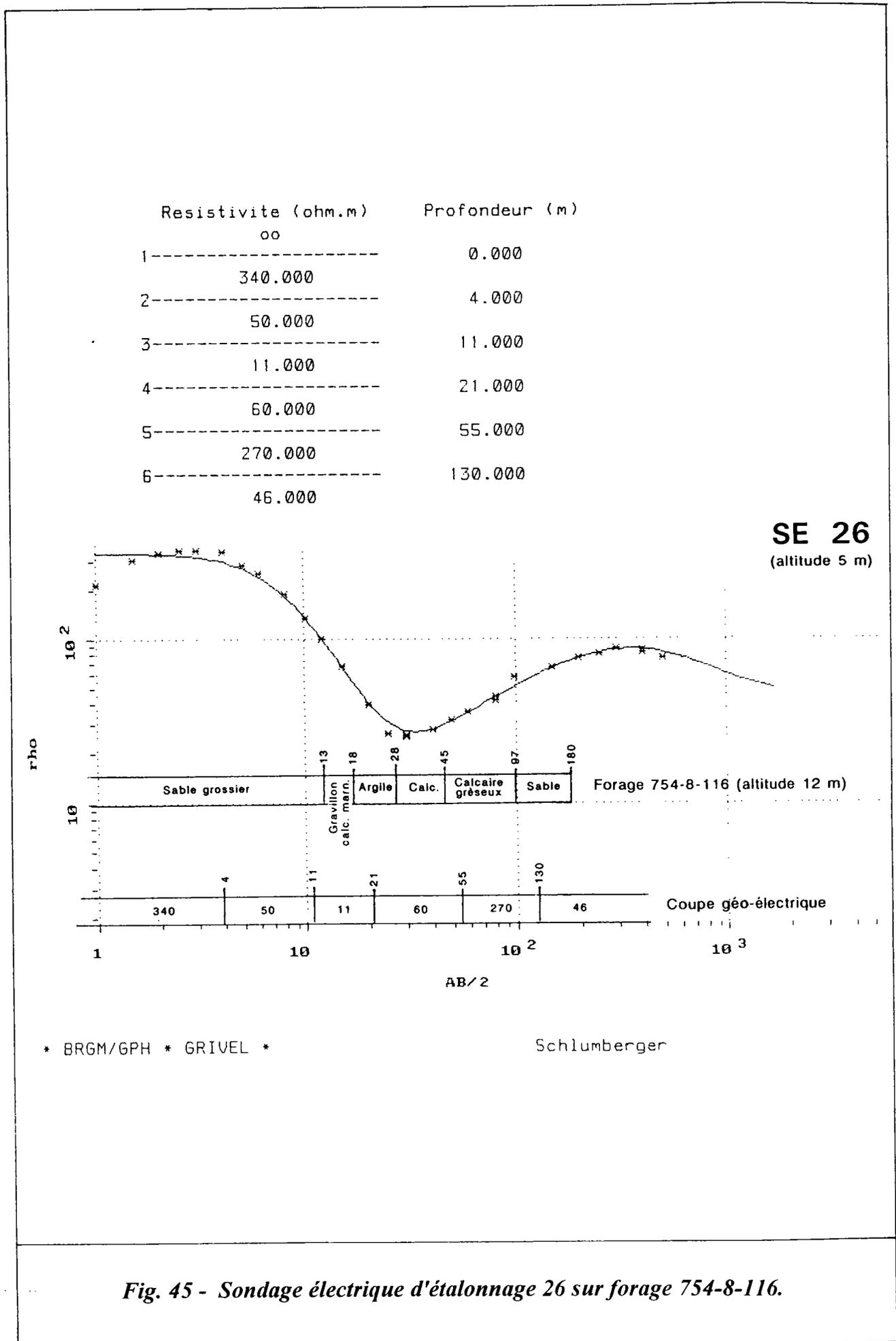


Fig. 45 - Sondage électrique d'étalonnage 26 sur forage 754-8-116.

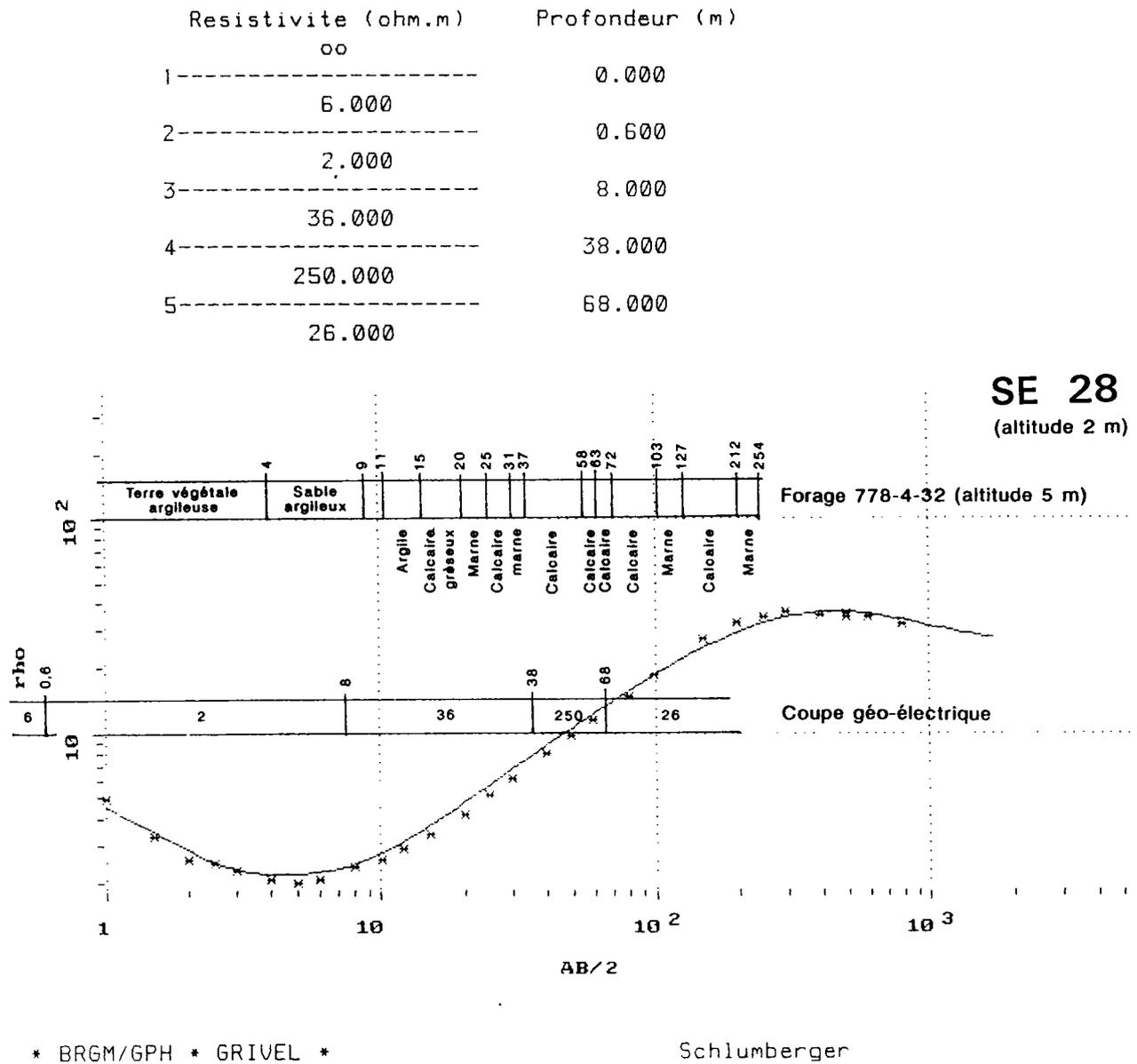


Fig. 46 - Sondage électrique d'étalonnage 28 sur forage 778-4-32.

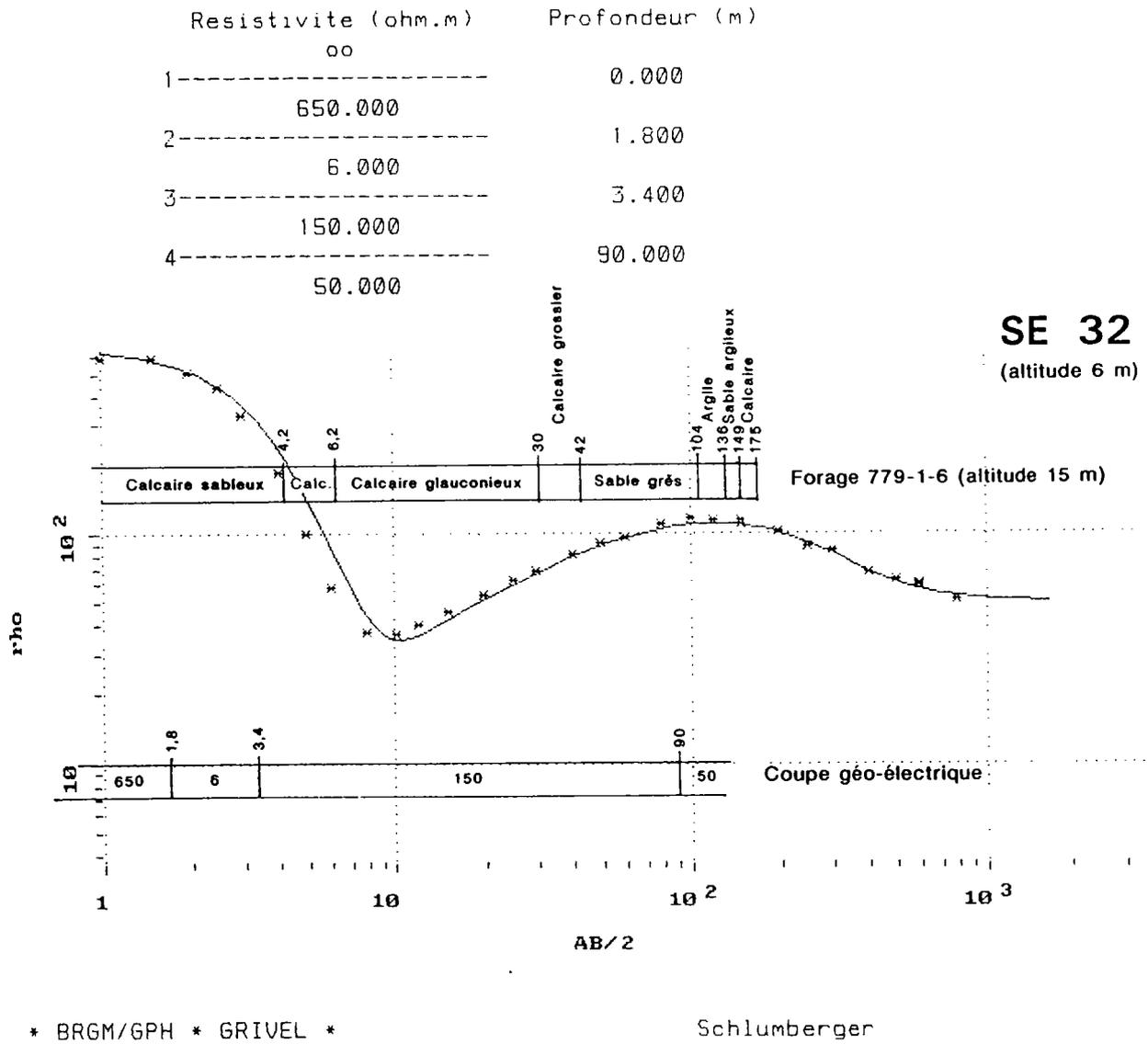


Fig. 47 - Sondage électrique d'étalonnage 32 sur forage 779-1-6.

4.6. SONDAGE DE RECONNAISSANCE DE PORT-DE-GOULEE

4.6.1. Objectifs

A la fin de la phase 1, un sondage de reconnaissance géologique a été réalisé dans le nord-est du Médoc car c'est un secteur où les renseignements sur les faciès et la profondeur des terrains éocènes étaient peu abondants par suite du petit nombre de sondages anciens. Les données hydrogéologiques modernes étaient encore plus rares pour la piézométrie et pas totalement fiables quant à la minéralisation des eaux de l'Eocène, leur vérification étant actuellement impossible par inaccessibilité (cas des forages du Phare de Richard et de St-Christoly). Situé à mi-distance entre les coupes 3 et 4, il permettait aussi de reconnaître un secteur où la géophysique avait détecté une remontée importante du conducteur profond pouvant être interprétée, soit comme l'apex de l'anticlinal de Couquèques, soit comme zone à invasion saline dans l'Eocène, hypothèse que suggérait déjà la campagne CGG de 1969.

4.6.2. Implantation

Le sondage, portant le n° 730-6-66, a été foré à **Port de Goulée** (Commune de Jau-Dignac-Loirac) à 250 m de la rive de l'estuaire entre les SE 6 et 7, là où le conducteur profond à 12 à 20 Ω .m se situe vers 27 et 45 m de profondeur. Il est implanté sur un terrain communal (matte en prairie), dont l'altitude est estimée à +2 NGF (un nivellement précis de la tête du sondage doit être effectué prochainement).

4.6.3. Réalisation

Le sondage a été effectué par l'entreprise FORADOUR de Mugron (40), du 21 au 31 janvier 1997, le développement et les essais de débits ayant été faits les 3 et 4 février, lors d'une marée de coefficient 60. La foration a été réalisée en 2 phases:

phase 1 - foration en 12" 1/4 jusqu'à 28,50 m
- tubage en PVC de 7" à raccords filetés, avec cimentation complète de l'annulaire par injection du coulis du fond vers la surface en 2 passes.

phase 2 - foration en 6"3/4 jusqu'à 111 m
- pose d'une crépine et tube porte-crèpine en PVC de 5" à raccords filetés, slot 0,5 mm, avec massif de graviers siliceux 2/4 dans l'annulaire du fond jusqu'à la surface.

Les diagraphies de *gamma-ray*, *résistivité petite normale* et *polarisation spontanée* effectuées à la fin de la foration ont permis d'une part le calage en profondeur des faciès lithologiques caractérisés par le suivi géologique et d'autre part d'optimiser la composition de la colonne de complétion afin d'assurer la transformation du sondage en piézomètre, le plus au nord du réseau d'alerte.

4.6.4. Résultats

4.6.4.1. Géologie

Ce sondage n'a pas mis en évidence de nette remontée de la limite *détritique/calcaire* dans l'Eocène moyen par rapport au sondage du Phare de Richard: il s'ensuit donc que l'apex anticlinal se situerait plus au sud dans le secteur de Port de By- Valeyrac. La série traversée se synthétise de la façon suivante (Fig. 48):

Quaternaire

L'Holocène, épais de 24 m est constitué à la base de sable fin coquillier et au sommet d'argile gris-noir à scrobiculaires, huîtres et *Cardium*.

Eocène moyen calcaire

Entre 24 m et 46 m se superposent des couches massives de calcaires bioclastiques packstone à grainstone à *Alveolina elongata*, *Orbitolites complanatus*, discocyclines, operculines et milioles, dans lesquelles s'intercalent un mince niveau de marnes gris sombre et de calcaire argileux wackestone (38 à 41 m).

Eocène moyen détritique

Entre 46 m et 65 m se sont déposées des séquences de grès, calcaire gréseux et calcaire à faune identique à celle du membre supérieur. A partir de 65 m alternent des grès, des sables propres grossiers et des sables fins à matrice argileuse gris sombre.

4.6.4.2. Hydrogéologie

Les essais de débit pendant 8 heures ont permis de caractériser les paramètres hydrogéologiques du réservoir de l'Eocène moyen dans ce secteur. Le débit spécifique de l'ouvrage est de 4 m³/h/m, la transmissivité de cette partie de la nappe est de 1,7.10⁻³ m/s. L'eau pompée a une température de 15,3°C et un pH de 7,4, pour une conductivité de 7000 µS. Deux échantillons ont été prélevés pour analyses chimiques. Elles révèlent une **salinité de 4,05 g/l, pour une teneur en NaCl de 3,3 g/l, ce qui confirme qu'une invasion saline est déjà en place dans ce secteur.**

Au repos le **niveau piézométrique** est estimé à **+0,74 NGF** lors de la basse mer pour une marée de coefficient moyen. Un limnigraphe a été installé pour suivre l'évolution de la piézométrie locale et filtrer les influences dues aux variations du niveau du plan d'eau dans l'estuaire en fonction des marées.

JAU-DIGNAC-LOIRAC

730 - 6 - 66

Sondage de PORT-de-GOULEE

Réalisé en Janvier 1997

Z = + 2

Etage	Prof.	Coupe Lithologique	Description	Formation
QUATERNAIRE Holocène	0 m			Argile à Scrobiculaires
	10		- Argile gris-noir à <i>Scrobiculaires</i> <i>Cardium</i> , huîtres et gastéropodes	
	20		- Coquilles d'huîtres et de <i>Cardium</i> abondantes	
EOCENE MOYEN	24		- Sables coquilliers arrondis	Eocène moyen calcaire
	30		- Calcaire blanc bioclastique à abondantes <i>Alvéolines</i> , <i>Milioles</i> , <i>Operculines</i>	
	38		- Biocalcarénite blanche à <i>Alvéolines</i> , <i>Milioles</i> , <i>Operculines</i> <i>Orbitalites</i> , <i>Discocyclines</i> abondantes	
	40		- Calcaire argileux wackestone gris sombre	
	41		- Marnes gris sombre	
	46		- Calcaire beige packstone à <i>Alvéolines</i> , <i>Milioles</i> , <i>Operculines</i>	
	50		- Grès grossier plus ou moins argileux	Eocène moyen détritique
	52		- Biocalcarénite grise gréseuse fine à glauconie	
	54		- Calcarénite jaune brun gréseuse très cimentée à <i>Alvéolines</i> , <i>Milioles</i> , <i>Dentales</i>	
	60		- Grès calcarénitique bioclastique à glauconie abondante	
	65		- Grès tendre grossier hétérométrique	
	69		- Grès sableux à petits graviers	
	70		- Argile grise	
	73		- Argile silteuse gris sombre à débris ligniteux	
	75		- Grès très tendre	
	80		- Argile vert pâle silteuse devenant sableuse en bas	
	83		- Argile gris sombre	
	84		- Argile gris sombre	
90		- Grès grossier et sables à débris ligniteux		
93		- Sables argileux fins gris sombre, argile sableuse en base		
99		- Sable plus ou moins argileux gris foncé très peu argileux en base		
106		- Sable plus ou moins argileux gris foncé		
110		- Sables grossiers propres homométriques		

Fig. 48 - Coupe géologique du sondage de reconnaissance de Port-de-Goulée
 (commune de Jau-Dignac-Loirac - 730-6-66)

4.7. DELIMITATION DES ZONES A RISQUE POTENTIEL D'INVASION D'EAU SAUMÂTRE

En croisant les nouvelles interprétations géologiques issues de cette étude et les résultats de la campagne géophysique, il est donc possible de délimiter trois secteurs à risque potentiel d'invasion d'eau saumâtre en rive gauche de l'estuaire.

4.7.1. Secteur nord

Entre le phare de Richard et St-Yzans de Médoc (du PK 78,5 au PK 63), la proximité des terrains calcaires plus ou moins gréseux du sommet local du réservoir est très grande sous le fond du chenal de GN. De plus, le réservoir n'est pratiquement pas protégé par les argiles flandriennes dans 3 zones où leur épaisseur est nulle ou inférieure à 1 m, donc facilement érodables.

- zone du PK 77, entre le Platin de Richard et le Port de Richard (coupe 3)
- zone du PK 74 au PK 69, entre Valeyrac et Port de By (coupe 4)
- zone de PK 63,5 devant Laména (coupe 6)

Le secteur est inscrit dans le coeur de l'anticlinal de Couquèques-Valeyrac, dans une zone d'interstratification des terrains calcaire/grès, si bien que la meilleure partie de l'aquifère se trouve localement à moins de 10 m de profondeur sous le fond de l'estuaire au droit du chenal de GN (coupes 4 et 5) entre le PK 65 et le PK 72.

Par ailleurs, la géophysique a détecté une **zone s'étendant du PK 74 au PK 76** dans laquelle les résistivités très faibles du conducteur profond pourraient aussi s'interpréter comme une zone d'invasion d'eau salée.

4.7.2. Secteur central

Devant St-Estèphe (PK 55), les calcaires du sommet de l'Eocène moyen sont affleurants dans un pointement rocheux sous le chenal de GN. Les premières interstratifications de grès sous-jacents sont situés à 25 m environ plus bas.

La remontée anticlinale légère de ce secteur est confirmée par la prospection géophysique, mais l'interprétation du conducteur profond en invasion salée du réservoir éocène est aussi possible sur une longueur de 2 km **entre les PK 55,5 et 53,5**, surtout vers le sud, autour de la coupe 8.

4.7.3. Secteur sud

Entre Lamarque et Blaye, les terrains calcaires de l'Eocène moyen affleurent au fond du chenal de GN sur une longueur de 2 km environ dans la passe de Cussac, du PK 36 au PK 38 (coupe 13). Les grès du réservoir se trouvent à cet endroit à 35 m environ de profondeur sous le fond du chenal. Ce secteur présenterait cependant moins de risques que les deux autres à cause de l'absence de milieux très conducteurs écartant la possibilité d'invasion saline à l'heure actuelle.

glaucorite
= silicate hydraté
de fer et magnésium

5. Etat des connaissances hydrogéologiques

En ce qui concerne l'hydrogéologie de la phase 1, il était prévu de débiter les recherches en faisant le point sur les aquifères concernés. Dans ce chapitre est principalement résumé l'état des connaissances sur la piézométrie et l'hydrochimie de la nappe éocène.

5.1. AQUIFERE DES TERRASSES ALLUVIALES AFFLEURANTES

Le réservoir est constitué par des alluvions sablo-graveleuses à lits de galets et des limons sablo-argileux des terrasses fluviales qui affleurent à l'est du Médoc. L'écoulement de la nappe s'effectue vers l'estuaire; son niveau piézométrique varie selon la saison entre 1 et 3 m sous le sol (Alvinerie *et al.*, 1974).

Les valeurs de perméabilité varient entre 3.10^{-5} m/s et 5.10^{-4} m/s. Les débits spécifiques sont de l'ordre de 1 à 3.5 m³/h/m.

Généralement les eaux de la nappe proches de l'estuaire ont des résistivités inférieures à 2 000 Ω .cm.

5.2. AQUIFERES DES TERRASSES SOUS-FLANDRIENNES

Le réservoir est constitué par un ensemble probablement très discontinu d'assises de galets, sables et graviers, sables marins coquilliers, dont la géométrie en "poissons" adjacents ou décalés en plusieurs niveaux altimétriques, est très complexe. Il s'étend sous l'estuaire et sous une grande partie des terres argileuses de l'Holocène (marais bordant les rives droite et gauche de la Gironde). Le niveau piézométrique de cette nappe captive sous les argiles flandriennes se situe autour de la cote +2 NGF.

L'alimentation de la nappe des graviers sous-flandriens s'effectue principalement au pied des collines bordant les terres. Une faible partie proviendrait des réservoirs hydrogéologiques sous-jacents par drainance ascendante. La perméabilité a été notamment mesurée dans le marais de St-Ciers au nord de Blaye (K compris entre $1,3.10^{-4}$ m/s et 1.10^{-3} m/s).

En rives gauche et droite, l'invasion par des eaux saumâtres de la Gironde a été mise en évidence depuis longtemps en de nombreux secteurs (marais de Beychevelle, secteur de St-Christoly-Laména, bordure estuarienne du marais de St-Ciers près de la centrale EDF du Blayais).

La traversée de ces terrains, représentés par quelques mètres de sables coquilliers, dans le sondage de Port de Goulée a montré la présence d'une eau saumâtre à près de 3 g/l.

5.3. AQUIFERE DE L'EOCENE MOYEN

La nappe est contenue dans un réservoir aux faciès variés, gréseux mais aussi calcaires dont le détail a été donné paragraphe 4.2.3. C'est la plus importante nappe captive de la Gironde. Malgré un domaine à fluor et sulfates et la présence assez générale de fer, elle est de bonne qualité car pratiquement partout protégée des pollutions.

Chaque ouvrage peut fournir des débits compris entre 100 et 250 m³/h. La perméabilité serait comprise entre 10⁻³ et 10⁻⁴ m/s.

L'aquifère éocène a été activement exploité depuis longtemps pour l'AEP mais aussi pour les industries des différents sites portuaires du PAB. Aussi cette nappe, fortement artésienne au début du siècle, a une surface piézométrique qui s'est abaissée régulièrement par suite des pompages intensifs des années 60 à 80.

Ainsi, dans la région bordelaise, le niveau piézométrique est passé de +5 NGF en 1965 à -5 m en 1972, -10 m en 1984 et -35 m en 1991. (Rapports du BRGM sur la gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde et cf. 1.2.).

Cependant la surface piézométrique n'est pas totalement stable dans sa forme générale. Pour exemple, l'état piézométrique de 1994 comparé à celui de 1993 a permis de constater une légère remontée du niveau sous Bordeaux et dans les secteurs de Bègles, Villenave d'Ornon, Martillac et Castillon; à Ambès, le niveau piézométrique se situait vers +1 à +2 NGF. En effet le transfert de prélèvements sur la nappe des calcaires oligocènes en 1994 a permis de réduire les baisses dans les secteurs sensibles de la nappe de l'Eocène moyen et d'y assurer une petite restitution.

Au vu de ces constatations, le Comité de gestion des nappes souterraines de la Gironde et les recommandations du SDAGE ont fixé comme objectif de maintenir une charge piézométrique d'au moins +2,50 NGF entre le creux piézométrique sous Bordeaux et l'estuaire, afin de prévenir l'invasion de la nappe éocène par les eaux saumâtres de l'estuaire. Cette valeur correspond à la charge d'une marée moyenne.

5.3.1. Inventaire des sondages

Entre la route du Médoc (RN 215 et RD 1) et la rive gauche de l'estuaire de la Gironde et entre la RN 137 - RN 10 et la rive droite, un complément d'inventaire des forages en aval du PK 23 a permis de recenser 71 ouvrages importants ayant traversé la nappe aquifère de l'Eocène moyen (fig. 49a et 49b). 57 d'entre eux ont été mesurés lors d'une campagne piézométrique effectuée en octobre 1996, et 17 se sont avérés inaccessibles pour des raisons diverses ou abandonnés.

Par rapport aux relevés habituellement faits par le SGR Aquitaine du BRGM dans le cadre de la gestion des nappes pour le compte du Conseil Général de Gironde, ce sont 16 forages supplémentaires qui ont été pris en compte dans cette enquête

hydrogéologique, ainsi que le récent sondage de Port-de-Goulée à Jau-Dignac-Loirac, qui servira bientôt de piézomètre pour le réseau d'alerte.

La répartition des ouvrages est très inégale. La plus forte densité existe en rive gauche au sud de Pauillac et jusqu'au Bec d'Ambès, et en rive droite autour de Blaye et Bayon.

Tout le nord Médoc est peu renseigné à cause de la rareté des forages profonds sauf autour de St-Vivien, Grayan et Lesparre.

5.3.2. Piézométrie de la nappe de l'Eocène moyen

Les données des ouvrages captant les grès et sables de la base de la formation et les calcaires du sommet ont été intégrées dans la même piézométrie. Le tableau de la figure 48 rassemble les valeurs des 60 ouvrages pour lesquels on connaît les niveaux piézométriques : soit d'octobre 1996, soit de février 1996 (3 d'entre eux n'ont pu être mesurés en octobre 1996, le forage d'Etauliers F2 (755-6-02) par exemple, ayant été rebouché).

Pour 41 ouvrages, les deux mesures et la différence des niveaux entre février et octobre, montrent pour 35 d'entre eux, une baisse généralisée de 1 m environ en moyenne, avec des écarts allant de -2,59 m à Castelnau (778-8-33) à 0,0 m à Blaye (779-1-143).

6 ouvrages seulement attestent d'un niveau piézométrique d'octobre supérieur à celui de février : la plupart sont situés dans la presqu'île d'Ambès (Eka Nobel, la Béchade) et la rive gauche de la Garonne (Syndicat de Ludon, Syndicat de Macau). Le forage de Font Petite à Lamarque (779-1-135) affiche une différence positive de 1,25 m qui peut être dûe à des arrêts de pompage plus importants avant la dernière mesure. Le forage de St-Vivien-La Loubie (730-5-1) est également en légère remontée mais comme aucune mesure dans les ouvrages autour n'avait été effectuée en février 1996, il n'est pas possible de savoir si c'est une tendance générale dans le secteur ou un cas isolé dû aux pompages.

La carte piézométrique (fig. 50) montre qu'à partir de la crête piézométrique de l'anticlinal Blaye-Lamarque-Listrac, la nappe présente un écoulement dans la direction générale de l'estuaire, bien que légèrement déporté sur la rive gauche. En effet, les niveaux les plus bas se situent entre le Château Loudenne (754-4-1) et Pauillac. Le sondage du Château Meney (754-8-4) près de St-Estèphe (PK 53) montre un niveau piézométrique d'étiage à -1,06 NGF.

Dans le secteur de St-Christoly, une légère remontée de la surface de la nappe autour de +1,7 NGF en étiage (pour +2,7 NGF en crue) est probablement dûe à la moindre densité d'ouvrages captant l'Eocène dans cette zone.

SONDAGES EN RIVE GAUCHE DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

INDICE BSS BRGM	COMMUNE	DESIGNATION	Z SOL NGF	REPÈRE Hl. en m	REPÈRE en NGF	PROF / Repère	Niveau Piézo	PROF / Repère	Niveau Piézo	DIFF. 6mois	REMARQUES
						Fév-96	Fév-96	Oct-96	Oct-96		
7298X0019	VENSAC	TASTE SOULE	5,00	0,07	5,07	1,90	3,17	2,35	2,72	-0,45	
7298X0020	GRAYAN H	COUSTRILLADE	8,00	0,38	8,38			6,51	1,87		
7298X0021	VENDAYS M	F VMI	10,00	0,34	10,34	8,75	1,59	9,39	0,95	-0,64	
7305X0001	St VIVIEN M	LA LOUBIE	4,00	0,38	4,38	2,50	1,88	2,17	2,21	0,33	
7305X0003	ST-VIVIEN	BERNADA	2,00	0,00	2,00			1,56	0,44		
7305X0036	JAU-DIGNAC	F2 COMMUNAL	4,10	0,50	4,60	2,25	2,35	3,74	0,86	-1,49	
7305X0046	St VIVIEN M	F1 LES PIOTS	8,00	0,20	8,20			6,20	2,00		
7305X0049	VENSAC	DEHES	9,00	0,30	9,30			6,89	2,41		
7305X0052	GRAYAN L' H	F2 MAURELLES	12,40	0,20	12,60			10,55	2,05		
7306X0066	JAU-DIGNAC	PORT DE GOULEE	2,00	0,60	2,60		2,60	1,86	0,74		mesuré en janvier 97
7541X0028	VENDAYS M	F2 BOURG	8,00	0,66	8,66			6,19	2,47		
7542X0001	LESPARRE	F1 COMMUNAL	7,00	0,16	7,16	0,10	7,06	1,19	5,97	-1,09	
7542X0002	LESPARRE	F2 COMMUNAL	7,00	0,66	7,66	2,20	5,46	3,26	4,40	-1,06	
7542X0040	CIVRAC MEDOC	L' HERITAGE	2,00	1,35	3,35			2,32	1,03		
7542X0044	LESPARRE	F4 CHAMP FOIRE	12,00	-1,15	10,85	9,20	1,65	10,06	0,79	-0,86	
7543X0010	St YZAN MEDOC	COUQUEQUES	5,00	0,17	5,17	1,55	3,62	3,42	1,75	-1,87	
7543X0024	St CHRISTOLY	Piezo 12	4,29	0,75	5,04	2,30	2,74	3,39	1,65	-1,09	
7543X0085	ORDONNAC	PLAUTIGNAN	18,00	0,85	18,85			14,44	4,41		
7544X0001	St YZAN MEDOC	Chau LOUDENNE	3,00	0,15	3,15	2,50	0,65	3,01	0,14	-0,51	
7548X0002	PAUILLAC	THOMPELOUP	3,48	-0,12	3,36	2,25	1,11	3,18	0,18	-0,93	
7548X0004	St ESTEPHE	Chau MEYNEY	12,00	0,10	12,10			13,16	-1,06		
7548X0005	St ESTEPHE	F1 ANGULEYS	6,20	0,65	6,85	6,10	0,75	6,85	0,00	-0,75	
7548X0010	St ESTEPHE	F3 SHELL	5,00	0,47	5,47			4,11	1,36		
7548X0011	St ESTEPHE	F4 SHELL	5,00	0,25	5,25			3,99	1,26		
7548X0116	St ESTEPHE	FONT PETITE	11,83	0,44	12,27	11,40	0,87	12,66	-0,39	-1,26	
7548X0117	PAUILLAC	CORDEILLAN	10,00	0,42	10,42	6,50	3,92	7,69	2,73	-1,19	
7548X0195	PAUILLAC	PARDARNAC	16,00	-0,70	15,30	9,30	6,00	11,26	4,04	-1,96	
7548X0197	PAUILLAC	F4 HAUTEVILLE	13,00	0,92	13,92	16,70	-2,78	17,68	-3,76	-0,98	
7783X0002	St LAURENT B	F1 COMMUNAL	10,00	0,00	10,00	1,10	8,90	2,51	7,49	-1,41	
7783X0008	St LAURENT B	F2 LAMOTHE	8,00	0,46	8,46	5,05	3,41	5,94	2,52	-0,89	
7784X0030	St JULIEN BEYCH	F2 Chau St J B	7,00	0,80	7,80			3,63	4,17		
7784X0031	St LAURENT B	F3 Z.A	8,00	0,55	8,55	4,30	4,25				inaccessible
7784X0032	CUSSAC	F2 Ste GEME	5,00	0,98	5,98	0,50	6,48	0,95	5,03	-1,45	
7784X0033	PAUILLAC	Chau BROUYAU	27,00	0,00	27,00	16,80	10,20	18,64	8,36	-1,84	
7784X0048	PAUILLAC	Chau LATOUR	9,50	0,00	9,50			6,43	3,07		
7788X0033	CASTELNAU M	F3 HOSPICE	26,00	0,52	26,52	12,15	14,37	14,74	11,78	-2,59	

Fig. 49 a - Données récentes sur la piézométrie
de la nappe de l'Eocène moyen autour de l'estuaire de la Gironde

INDICE BSS BRGM	COMMUNE	DESIGNATION	Z SOL NGF	REPERE H. en m	REPERE en NGF	PROF / Repère		Niveau Piézo		DIFF. 6mois	REMARQUES
						Fév-96	Fév-96	Oct-96	Oct-96		
7788X0037	AVENSAN	VILLEGEORGES	16,00	0,79	16,79	11,90	4,89	14,31	2,48	-2,41	
7791X0006	LAMARQUE	F1 COMMUNAL	7,50	0,55	8,05	2,00	6,05	2,98	5,07	-0,98	
7791X0135	LAMARQUE	F2 SYNDICAT	8,00	0,34	8,34	12,20	-3,86	10,95	-2,61	1,25	
7795X0003	MARGAUX	F2 STADE	16,00	0,78	16,78	16,40	0,38	16,42	0,36	-0,02	
7795X0010	MARGAUX	Chau MARGAUX	5,50	0,00	5,50	2,70	2,80	3,29	2,21	-0,59	
7795X0012	SOUSSANS	Gd MEYRE	4,55	1,35	5,90	2,00	3,90	2,82	3,08	-0,82	
7795X0013	MARGAUX	ILE VINCENT	2,40	0,20	2,60	0,50	2,10	1,88	0,72	-1,38	
8032X0001	LUDON MEDOC	F1 SYNDICAT	5,92	0,16	6,08	7,51	-1,43	7,45	-1,37	0,06	
8032X0256	MACAU	F3 SYNDICAT	7,00	0,40	7,40	9,00	-1,60	8,95	-1,55	0,05	

SONDAGES EN RIVE DROITE DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

7552X0012	St.CIERS / Gde	F SYNDICAT	4,97	0,63	5,60	0,45	5,15	1,05	4,55	-0,60	
7555X0040	BRAUD St LOUIS	F PSE9 EDF CNB	3,60	2,42	6,02	3,96	2,06	4,88	1,14	-0,92	
7556X0002	ETAULIERS	F2	7,50	1,60	9,10	1,50	7,60				rebouché
7556X0025	ETAULIERS	F3	11,00	0,45	11,45	1,80	9,65				inaccessible
7556X0083	ETAULIERS	F4	7,50	0,85	8,35			0,45	7,90		
7791X0002	PLASSAC	F COMMUNAL	3,50	1,15	4,65	2,00	2,65	2,22	2,43	-0,22	
7791X0004	BLAYE	F2 All. SOUPIRS	5,50	0,00	5,50	0,70	4,80	1,55	3,95	-0,85	
7791X0008	St.GENES BLAYE	F2 SEGONZAC	4,00	3,82	7,82	2,75	5,07	3,71	4,11	-0,96	
7791X0015	BLAYE	F S.C.R.E.G	3,42	0,47	3,89	0,25	3,64	0,57	3,32	-0,32	
7791X0143	BLAYE	TOUT VENT	32,00	0,42	32,42	29,70	2,72	29,70	2,72	0,00	
7792X0006	BERSON	LA CHARONNE	27,00	0,25	27,25			21,92	5,33		
7795X0006	VILLENEUVE B.	F2 ROQUE THAU	4,15	0,86	5,01	0,70	4,31	1,75	3,26	-1,05	
7796X0069	BOURG Gde	COMMUNAL	7,00	1,22	8,22	4,70	3,52	5,01	3,21	-0,31	
7796X0101	LANSAC	LES MOISELLES	14,00	0,76	14,76			9,76	5,00		
7796X0106	AMBES	LA BECHADE	3,60	0,98	4,58	3,28	1,30	3,02	1,56	0,26	
7796X0110	AMBES	EKA NOBEL	4,50	0,70	5,20	4,56	0,64	3,73	1,47	0,83	

Fig. 49 b - Données récentes sur la piézométrie
de la nappe de l'Eocène moyen autour de l'estuaire de la Gironde

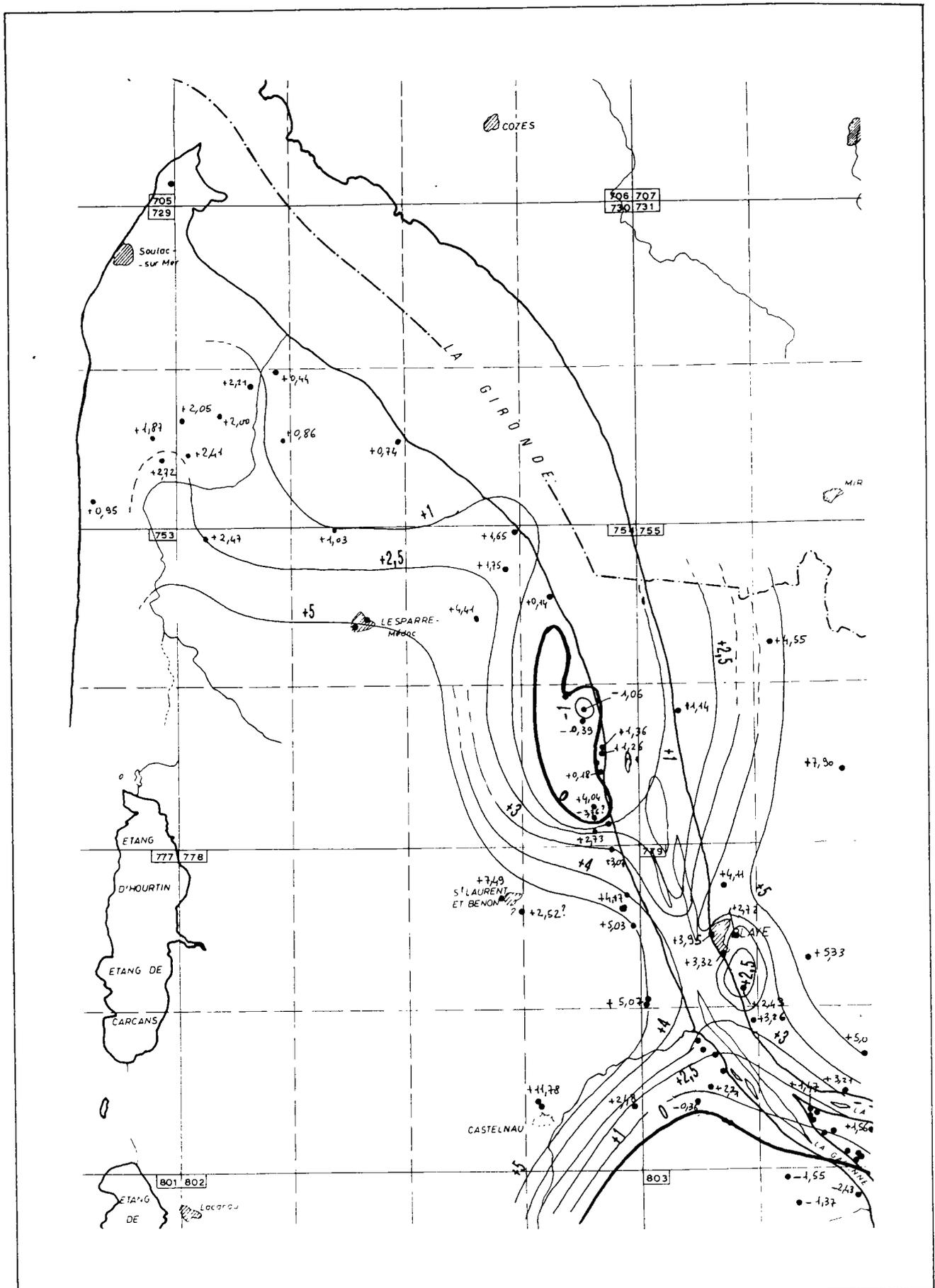


Fig. 50 - Carte piézométrique en Octobre 1996
 de la nappe de l'Eocène moyen autour de l'estuaire de la Gironde

Plus au nord, les niveaux mesurés dans les forages du secteur de Jau-Dignac et de St-Vivien attestent d'une pente légère de la nappe vers le nord-est, avec un toit situé autour de +0,40 NGF à l'étiage 96 (St-Vivien - 730-5-3).

Le récent forage de reconnaissance de Port de Goulée confirme cette tendance bien que le nivellement exact ne soit pas encore réalisé (niveau piézométrique estimé à +0,70 NGF à la crue de février 97).

5.3.3. Comparaison du niveau piézométrique et du plan d'eau de l'estuaire

Le niveau d'eau varie assez fortement dans l'estuaire au cours du cycle des marées, en fonction du marnage qui lui-même est compris, à Pauillac par exemple, entre 4,95 m en vives-eaux et 2,60 m en mortes-eaux .

En remarque préliminaire, il faut souligner que le maintien souhaité à +2,5 NGF du niveau piézométrique correspond bien à la cote altimétrique d'une pleine-mer de vives-eaux dans la zone de l'embouchure, mais que c'est déjà le niveau atteint à Blaye lors de la pleine-mer d'une marée moyenne de coefficient 70 (cf 3.2.2.1. -Caractéristiques de marée).

Les schémas des figures 51 et 52 permettent de visualiser les niveaux comparés de la surface piézométrique de la nappe de l'Eocène moyen en étiage (octobre 1996) par rapport au niveau du plan d'eau dans l'estuaire en fonction des coefficients de marée et des cycles diurnes de la marée, comparaisons effectuées pour quatre secteurs le long de l'estuaire.

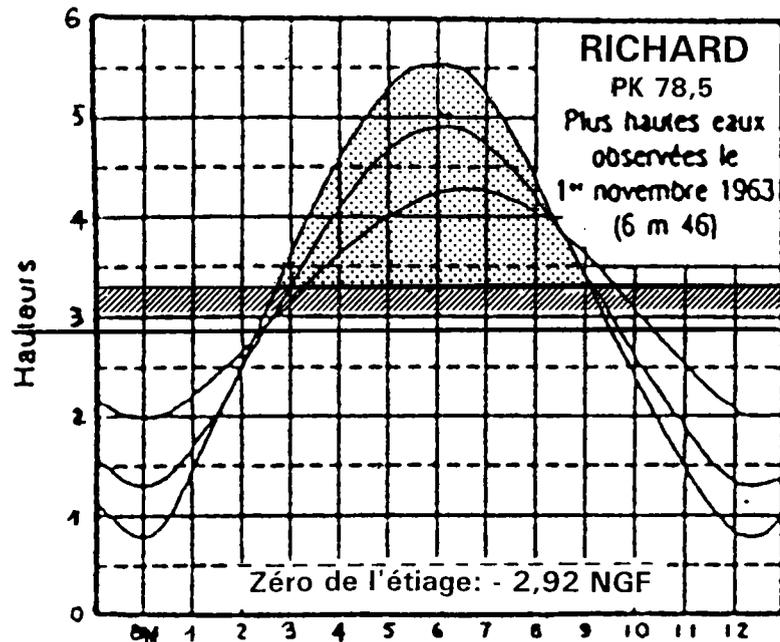
5.3.3.1. Estuaire aval

- Au niveau du *Phare de Richard*, le niveau piézométrique de +0,44 NGF correspond à +3,36 m seulement au-dessus du niveau d'étiage marin, si bien que c'est une **surcharge de l'eau de l'estuaire** de 2,20 m au maximum qui s'exercerait sur la nappe éocène **pendant 6 h environ par marée**, autour de la pleine-mer quel que soit le coefficient de marée.

5.3.3.2. Estuaire amont

- Près du PK 63, *St-Christoly et Passe de Laména*, le niveau piézométrique plus élevé +1,76 NGF, correspond à +4,63 m au-dessus du niveau d'étiage marin. La **surcharge moins forte**, de 1 m au maximum, ne se produirait que **pendant 3 à 3,5 heures par marée** lors des coefficients 100 et 70. Par mortes-eaux, il n'y aurait pas de surcharge.
- Autour du PK 50, dans le secteur de *St-Estèphe-Pauillac*, le très bas niveau de la nappe (-1,06 NGF) correspond à seulement +1,54 m au-dessus de l'étiage marin.

Par marée de coefficient 100:
6 heures de surcharge
des eaux saumâtres estuariennes
avec + 2,20 m au maximum



Par marée de coefficient 100:
3,5 heures de surcharge
des eaux saumâtres estuariennes
avec + 1,00 m au maximum

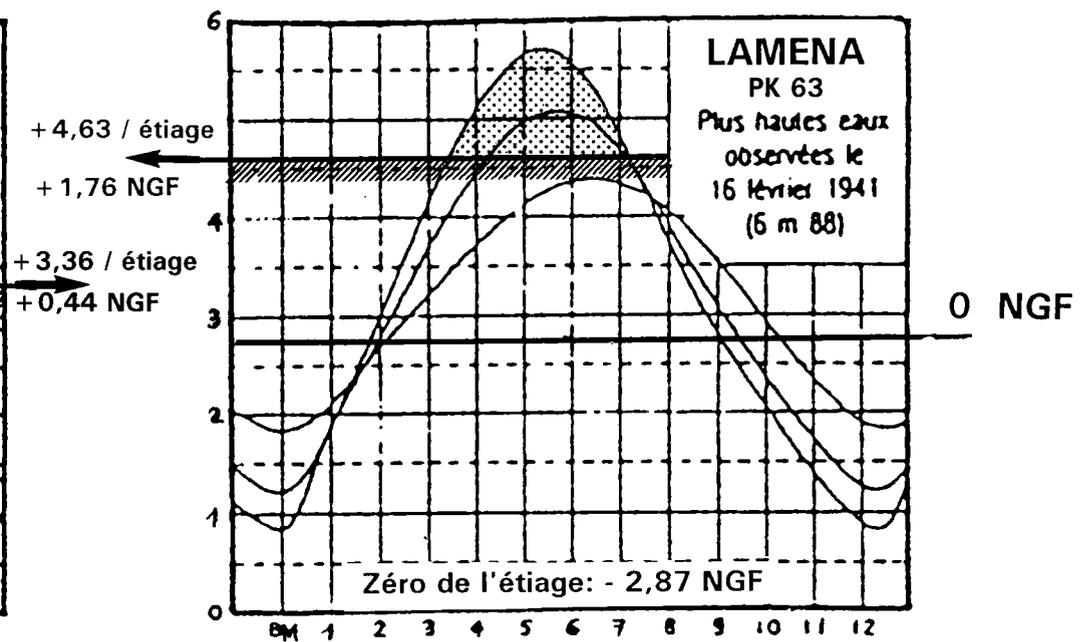
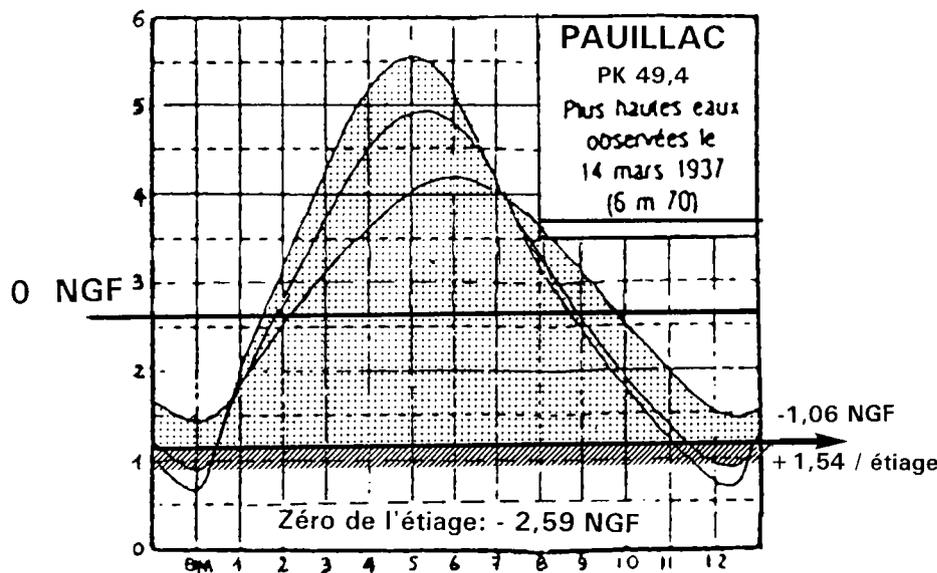


Fig. 51 - Comparaison du niveau piézométrique de la nappe de l'Eocène moyen en étiage par rapport aux variations du plan d'eau dans l'estuaire aval (PK 78,5 et PK 63)

Par marée de coefficient 100:
10,5 heures de surcharge
des eaux saumâtres estuariennes
avec + 4,00 m au maximum



//// Niveau piézométrique
de la nappe éocène

Par marée de tous coefficients:
12 heures de surcharge
des eaux douces de la nappe
avec + 1,80 m au minimum

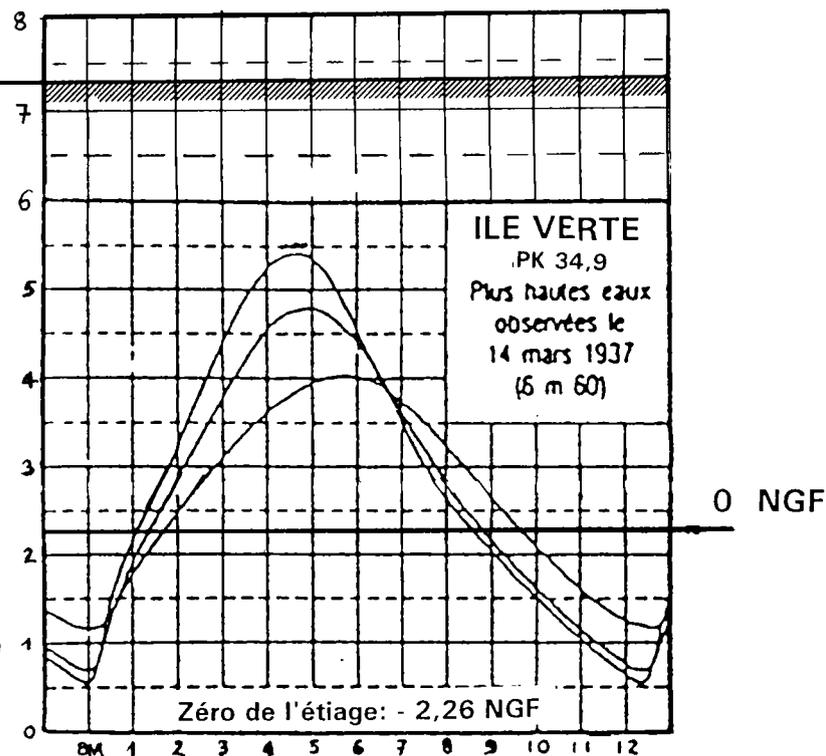


Fig. 52 - Comparaison du niveau piézométrique de la nappe de l'Eocène moyen en étiage par rapport aux variations du plan d'eau dans l'estuaire amont (PK 49,4 et PK 34,9)

La **surcharge** est à cet endroit **très forte** (près de 4 m) et s'exercerait **pendant plus de 10 heures par marée** quel que soit le coefficient de marée.

- Dans le secteur très en amont de *Fort-Médoc - Ile Verte* (PK 35), le niveau piézométrique très élevé (+5 à +4 NGF) donne un niveau de la nappe éocène à +7,30 m à +6,30 m au-dessus du niveau d'étiage marin; de ce fait, la **nappe éocène est toujours en charge** par rapport à l'estuaire d'au moins 1,80 m, **même en pleine-mer de vives-eaux**.

En résumé, c'est seulement le secteur le plus amont de l'estuaire entre St-Julien de Beychevelle et l'Ile Verte - Roque de Thau (du PK 42 au PK 32) que le niveau piézométrique élevé de la nappe éocène lui assure une protection hydrostatique contre d'éventuelle invasion d'eau saumâtre.

Partout ailleurs et en particulier autour de St-Estèphe, les différences de pression entre la nappe et l'eau de l'estuaire sont telles que des invasions estuaire → nappe sont théoriquement possibles pendant l'automne, surtout aux marées d'équinoxe.

5.3.4. Hydrochimie

Les eaux de la nappe éocène sont généralement moyennement minéralisées (200 à 600 mg/l), caractérisées par un faciès bicarbonaté calcique.

La **conductivité** est généralement moyenne, à forte au sud, (240 à 790 $\mu\text{S/cm}$) et montre dans certains ouvrages une évolution croissante depuis 20 ans (fig. 53). Par exemple, à Pauillac dans le forage de Cordeillan (754-8-117), la conductivité de l'eau est passée progressivement de 350 $\mu\text{S/cm}$ en 1974 à 425 $\mu\text{S/cm}$ en 1995. De même à St-Estèphe dans le forage des Anguilley (754-8-5), la conductivité est passée de 350 $\mu\text{S/cm}$ en 1979 à 410 $\mu\text{S/cm}$ en 1995.

La **teneur en chlorures** est généralement comprise entre 20 et 50 mg/l (fig. 54), sauf dans quelques points où elle peut atteindre 70 à 90 mg/l (Lesparre 754-2-44, Grayan 730-5-52).

Cependant quelques forages, aujourd'hui abandonnés donc inaccessibles aux mesures, ont fourni des eaux plus ou moins salées, dont les rares données sont disponibles dans les archives:

- Ainsi le sondage de *Phare de Richard*, aujourd'hui abandonné (730-6-4) a pompé une eau à **4,85 g/l** de résidu sec (analyse de 1963). Teneur en chlorure de sodium : 3,6 g/l.
- Le sondage de *Laména* (754-4-2) a lui aussi donné de l'eau saumâtre à **4,70 g/l** en 1962. Teneur en chlorure de sodium : 3,5 g/l.

- Le dispositif expérimental de *St-Christoly* (sondages 754-3-17 et 18 et piézomètres associés), qui donnait initialement de l'eau douce à 350 mg/l (avec 50 à 100 mg/l de chlorures), a obtenu de l'eau à **261 mg/l de chlorures** (hors-normes de potabilité: 200 mg/l) au bout de 4,5 mois de pompage (Albinet *et al*, 1965; Bourgeois, 1966).

Cependant tous ces sondages sont très proches du rivage de l'estuaire, alors que la salinité des sondages d'AEP plus éloignés ne montrent pas d'anomalie notable :

- Couquèques (754-3-10)	à 2,6 km du rivage:	360 mg/l
- St-Estèphe <i>Les Anguilleys</i> (754-8-5)	à 2,0 km du rivage:	255 mg/l
- St-Estèphe <i>Font Petite</i> (754-8-116)	à 1,8 km du rivage:	260 mg/l
- Pauillac (754-8-117)	à 1,3 km du rivage:	316 mg/l
- Pauillac (754-8-2)	à 0,2 km du rivage:	280 mg/l

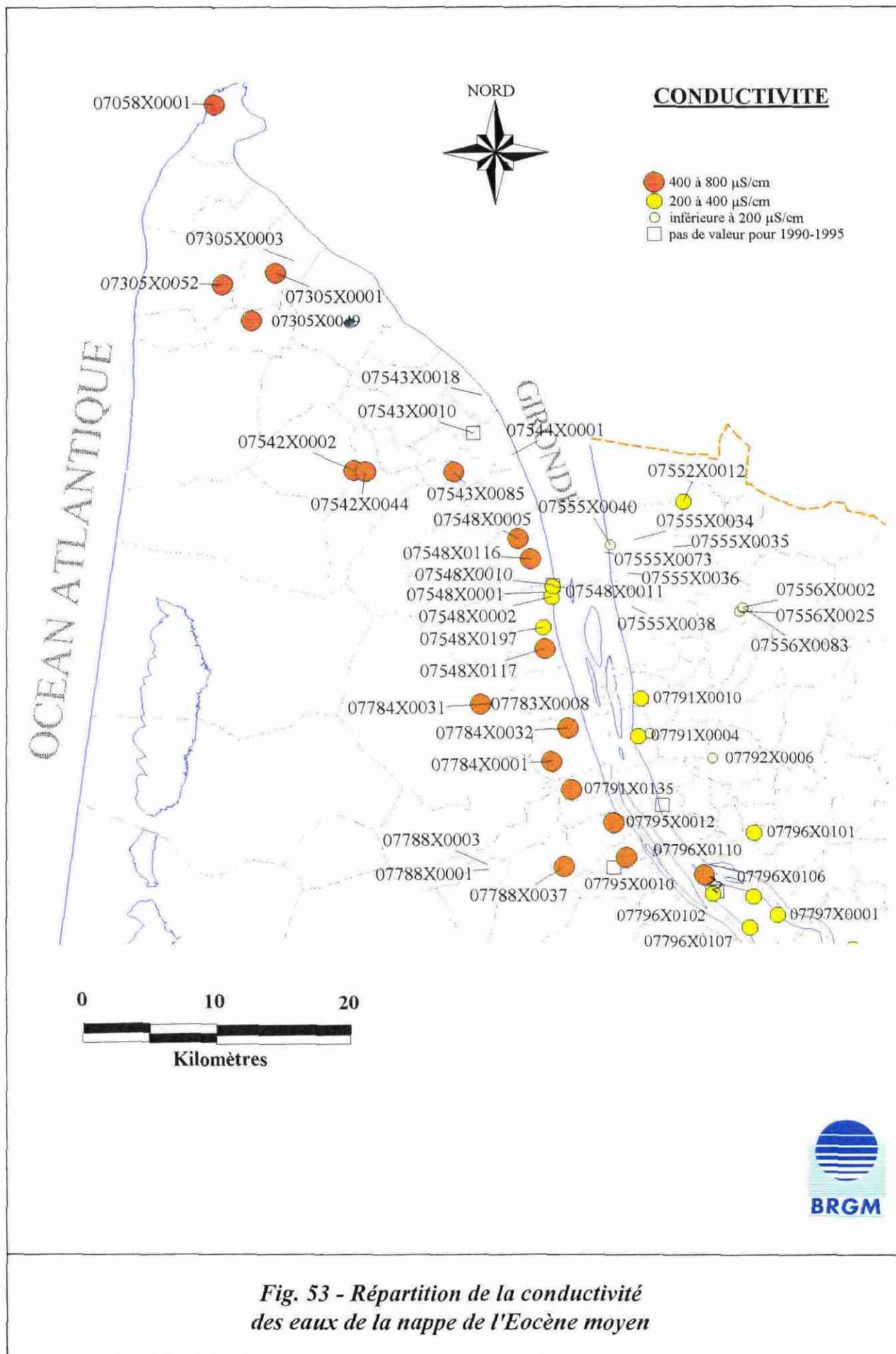
5.3.5. Particularité de l'invasion saline

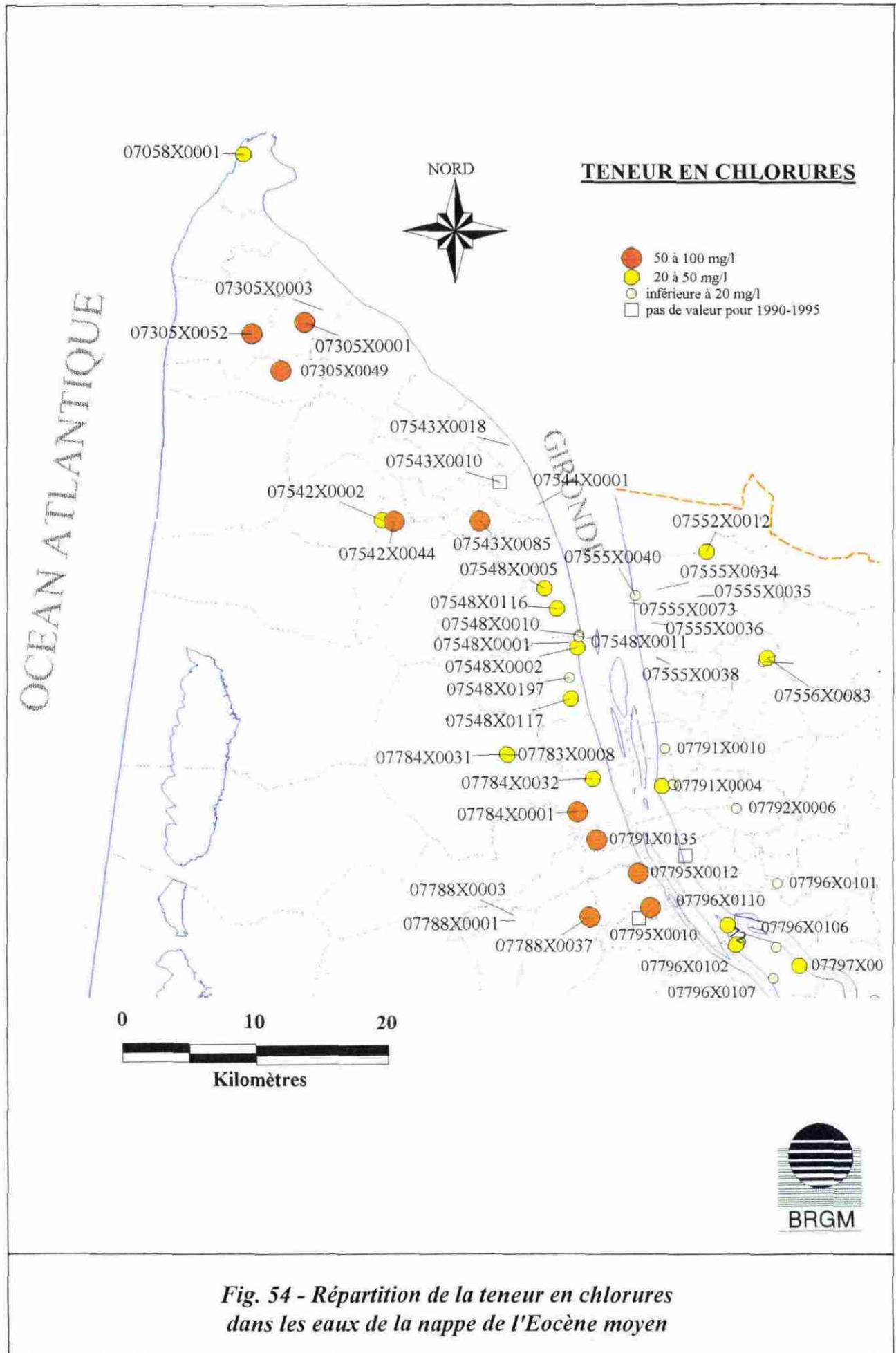
Les premières constatations relevées dans le cas des invasions salines de ces sites et dans celle du sondage de Port-de-Goulée permettent de penser que le phénomène d'invasion est, sur cette rive de la Gironde, probablement légèrement différent par rapport à celui d'un biseau salé habituel dans un aquifère homogène s'écoulant normalement vers son exutoire en mer.

En effet les principales particularités de l'aquifère éocène sont les suivantes:

- faible partie du réservoir en contact avec les eaux saumâtres par des "fenêtres" au sein des terrains imperméables
- aquifère multicouches présentant des effets de barrière plus ou moins imperméable sur le plan vertical, localisés dans une bande de quelques kilomètres de large sous une grande partie de l'estuaire
- géométrie du réservoir présentant une pente générale vers le sud-ouest

Il s'ensuit de ces éléments que l'eau saumâtre de l'estuaire ne semble pénétrer que dans certaines parties perméables du réservoir en contact avec les fenêtres pour s'écouler progressivement vers le bas par différence de densités avant de se mettre en équilibre à une certaine profondeur. Cette hypothèse expliquerait que **ce n'est pas forcément la base de l'aquifère éocène qui soit la plus salée**. Elle semble étayée par le sondage de Port-de-Goulée dans lequel la comparaison des diagraphies de Gamma-Ray et de résistivité normale indiquerait l'existence d'une zone probablement plus salée entre 70 et 75 m, dans une assise de grès isolée, que dans les sables grossiers de la base du sondage (à confirmer par la diagraphie de conductivité à venir).





6. Conclusions et perspectives

Programmation de la phase 2

Au terme de la première année de l'étude sur les relations entre l'Estuaire de la Gironde et la nappe aquifère de l'Eocène moyen, la réinterprétation géologique du secteur autour et sous l'estuaire, appuyé par une campagne de géophysique électrique a permis d'une part de préciser le contexte géométrique du réservoir éocène, ses variations lithologiques majeures verticalement et horizontalement et ses rapports avec les formations superposées tertiaires et quaternaires. D'autre part, un bilan synthétique des connaissances hydrogéologiques sur cette nappe a abouti, après comparaison des paramètres de pressions hydrostatiques entre la nappe et l'estuaire et des paramètres hydrochimiques avec la salinité longitudinale des eaux de la Gironde, à délimiter des zones plus sensibles à l'invasion d'eau salée.

6.1. SECTEURS A RISQUE POTENTIEL D'INVASION SALINE

L'ensemble des résultats de cette première phase d'étude permet donc de délimiter et de hiérarchiser trois secteurs où le risque potentiel d'invasion saline est non négligeable mais à des degrés divers en fonction de la situation et de l'état piézométrique du réservoir aquifère. Il est alors possible de proposer l'implantation des sondages piézométriques du réseau d'alerte (fig. 55). Ce sont dans l'ordre du risque décroissant :

6.1.1. Secteur nord: entre Phare de Richard et St-Yzans-de-Médoc

Déjà par le passé, trois forages avaient produit de l'eau salée à 5 g/l environ : phare de Richard (730-6-4), Laména (754-4-2) et St-Christoly (754-3-17), où un dispositif d'étude avait été implanté en 1964-65.

Le niveau piézométrique actuel était mal connu dans ce secteur jusqu'à la réalisation du sondage de reconnaissance de Port de Goulée qui confirme que la pression de la nappe éocène est très basse dans ce secteur (+0,74 NGF en fin janvier 1997) pour +0,14 NGF à Château Loudenne (754-4-1). Le niveau était de +1,65 à l'étiage de 1996 à St-Christoly (754-3-24).

Ce secteur se décompose en 3 zones à risques légèrement différents :

- De Valeyrac à Port de By (PK 74 à PK 62), la zone semble la plus vulnérable à cause de la grande étendue des calcaires éocènes au fond du chenal de GN, de la faible profondeur du toit des grès réservoir (anticlinal), de la faible pression de la nappe relativement à l'étiage marin (+3,5 m à +4,5 m) et de la forte salinité des eaux estuariennes (jusqu'à 18 g/l).

- Devant le **Port de Richard (PK 77)**, le risque devrait être un peu moins grand car la superficie des rochers affleurants sous l'estuaire est faible. Toutefois, le différentiel piézométrique au détriment de la nappe éocène est plus important, de même que la salinité des eaux de fond de l'estuaire (10 à 20 g/l).

- Devant la **Passe de Laména (PK 63,5)**, le risque d'invasion serait un peu plus faible, la zone d'affleurement étant aussi petite, mais la salinité est moins forte (3 à 15 g/l), alors que le différentiel piézométrique semble plus faible.

La réalisation de deux sondages piézométriques est prévue dans le secteur nord en plus du sondage de Port de Goulée. Ils seront implantés l'un entre Valeyrac et St-Christoly entre les SE 9 et SE 12, et l'autre entre Laména et le Château Loudenne (St-Yzans de Médoc) près du SE 17.

6.1.2. Secteur central: St-Estèphe-Pauillac (PK 58 à PK 52)

Autour du PK 55, devant lequel affleure un petit pointement de calcaire éocène au fond du chenal de GN, le secteur présente un risque non négligeable car le niveau piézométrique actuel de la nappe éocène, assez bien connu dans le secteur, est voisin du 0 NGF, voire négatif, en étiage (sondages de Saint-Estèphe, les Anguileys -754-8-5, Font-Petite -754-8-116) et autour de +2 NGF en rive droite aux environs de la centrale EDF du Blayais. Avec un niveau piézométrique si bas, la surcharge hydrostatique de l'estuaire par rapport à la nappe peut être estimée à 3 ou 4 m suivant les points et les coefficients de marée pendant la majorité de la durée de celle-ci. Toutefois, la salinité de l'estuaire, décroissante vers l'amont n'atteint que 5 à 9 g/l dans ce secteur.

Pour surveiller le secteur central, la réalisation de un à deux sondages piézométriques est envisagée près de St-Estèphe entre les SE 24 et SE 25, qui ont détecté une résistivité anormale en profondeur à moins de 70 m.

6.1.3. Secteur sud: à l'ouest de la Passe de Cussac (PK 36 à PK 38)

Beaucoup moins vulnérable que les deux autres secteurs, celui du sud se trouve actuellement encore protégé par le niveau piézométrique élevé, même en étiage, qui exerce une pression hydrostatique toujours ascendante de la nappe quelque soit le coefficient et le niveau de la marée.

En effet, une crête piézométrique autour de +5 NGF existe entre Lamarque et Blaye (+5,07 au 779-1-6, +5,03 à St-Geme au 778-4-32 et +3,95 à Blaye au 779-1-4). Au sud, la nappe s'abaisse progressivement jusque vers +1,50 NGF au Bec d'Ambès mais le réservoir y est protégé par les marnes et calcaires marneux de l'Eocène supérieur et les argiles flandriennes. Le risque est d'autant plus minime que la salinité est très faible (< 3 g/l).

Un sondage piézométrique de surveillance pourrait toutefois être réalisé pour suivre l'évolution de cette crête entre Fort-Médoc et Port de Lamarque. Sa profondeur est estimée à 120 m. Il serait si nécessaire réalisé à la fin du programme de sondage pour compléter le réseau.

6.2. PERIODE DE RISQUE ACCRU

Il faut souligner que dans les deux secteurs nord et central, le risque d'invasion est nettement plus grand *entre le mois d'août et le mois d'octobre*, correspondant à l'étiage fluvial. En effet, il y a à cette période là, conjonction de trois conditions défavorables :

- Le niveau piézométrique de la nappe éocène est au plus bas.
- La salinité augmente partout dans l'estuaire jusqu'au PK 25 par la moindre dilution de l'eau de mer, alors que le front d'intrusion saline ne dépasse pas le PK 55 en période de crue (St-Estèphe).
- De très grandes marées de coefficients supérieurs à 115 à la fin août et autour de l'équinoxe d'automne se produisent dans des conditions météorologiques dépressionnaires augmentant la surcharge hydrostatique du plan d'eau de l'estuaire.

6.3. PROGRAMME DE TRAVAUX DE LA PHASE 2

Il est prévu la réalisation de 3 à 4 sondages piézométriques de 100 à 150 mètres environ de profondeur, équipés de crépines sur la hauteur totale du réservoir aquifère de l'Eocène moyen, qui avec le sondage de Port de Goulée constitueront le réseau de surveillance et d'alerte le long de l'estuaire de la Gironde. Après l'acquisition des caractéristiques hydrodynamiques locales par essais de débit, les diagraphies de conductivité *in situ* et les analyses physico-chimiques régulières de l'eau à différentes profondeurs permettront de caractériser l'état initial des qualités de l'eau dans ce secteur.

La pose de capteurs de pression et d'enregistreurs en continu des paramètres physico-chimiques est prévue comme équipement final. Des systèmes de télésurveillance pourront être mis en place ultérieurement.

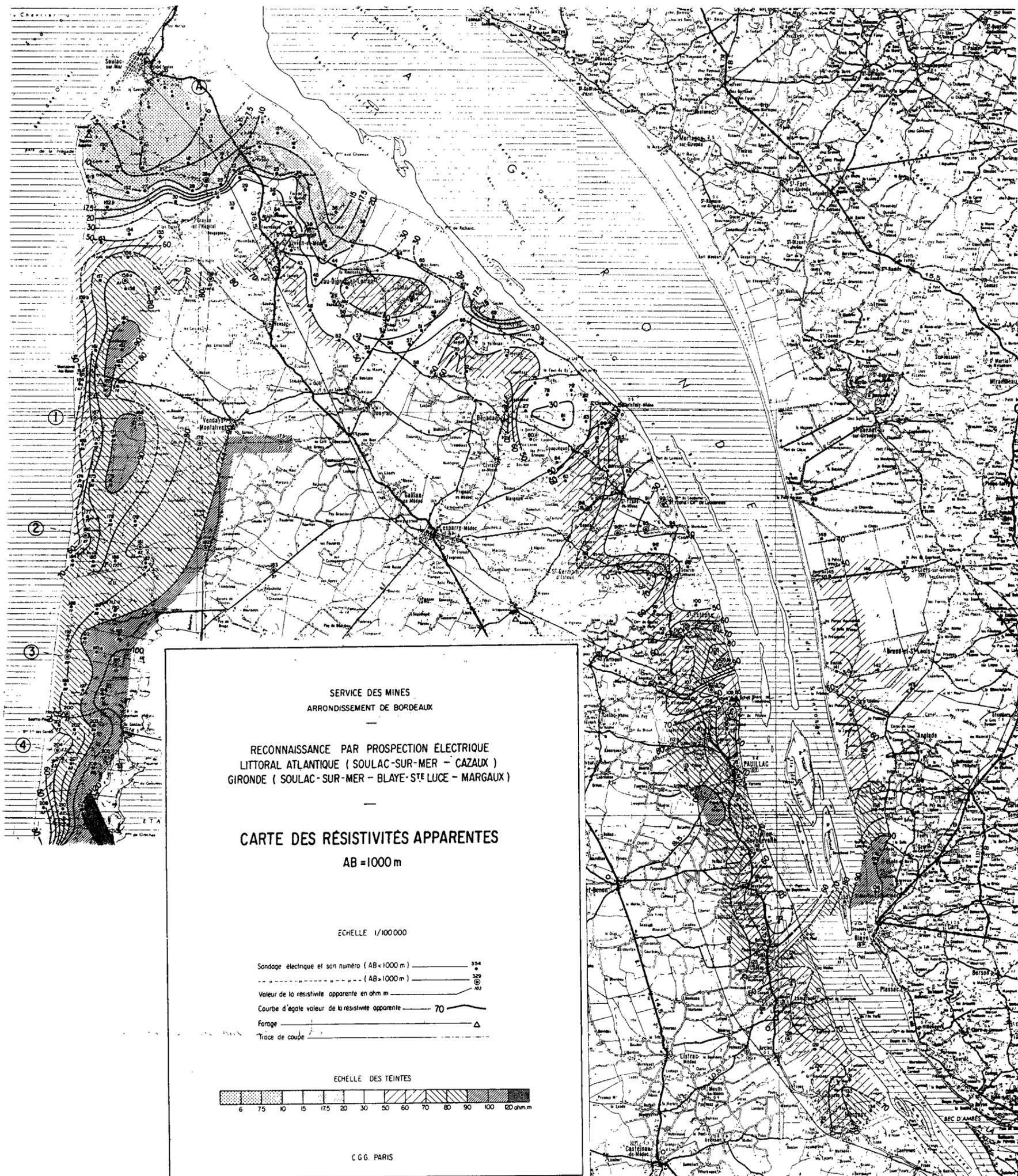
L'ensemble de ces données s'ajouteront à celles obtenues pour la Gestion des nappes du département de la Gironde pour alimenter le fonctionnement du modèle mathématique spécifique à ce secteur nord du département, qui pourrait permettre, à la fin de la phase 3, de simuler l'évolution des relations entre les eaux saumâtres de l'estuaire de la Gironde et la nappe aquifère de l'Eocène moyen.

7. Bibliographie

- Agence de l'Eau Adour Garonne - IFREMER - DGO et LOB-COBM (Univ.Bordeaux I) - CEMAGREF - BRGM - PAB (1994)
Synthèse des connaissances de l'estuaire de la Gironde - Livre Blanc , 115 p.
- Albinet M., Bourgeois M., Trupin G. (1965) - Etude de la nappe des sables éocènes en Gironde. Compte rendu des travaux exécutés à St-Christoly de Médoc d'octobre 1964 à mars 1965. Forage expérimental et piézomètre.
Rapport BRGM DSGR 65 A 70 - 74 p., 2 pl. annexes
- Allen G.P. (1972) - Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde.
Thèse Doct. Etat ès Sciences, Bordeaux, 310 p.
- Allen G.P., Castaing P., Feral A., Klingebiel A., Vigneaux M. (1970) - Contribution à l'étude des faciès de comblement et interprétation paléogéographique de l'évolution des milieux sédimentaires récents et actuels de l'estuaire de la Gironde. *Bull. IGBA* - n°8, p.99-154
- Allen G.P., Salomon J.C., Bassoulet P., du Penhoat Y., de Grandpré C. (1980) - Effects of tide on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedim. Geol*, 26, p. 69-90
- Alvinerie J., Chagnaud M., Duvergé J., Frayssinge J., Muraour P., Pratviel L., Vigneaux M. (1974) - Etude géologique et hydrogéologique de l'aquifère des graves - Rive gauche de la Garonne et de la Gironde entre Blanquefort et le Verdon (Gironde).
Rapport IGBA 6705-RA. 126 p., 13 pl. annexes
- Besse A. (1996) - Prospection géophysique par sondages électriques le long de l'estuaire de la Gironde dans la région de Pauillac. Rapport BRGM R 39217 - 56 p., 10 fig., 3 pl..
- Bonnery H., Mauroux B., Sourisseau B. (1996) - Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde. Etat des connaissances à fin 1995 - Rapport BRGM R 39147, 141 p., 176 fig., 1 volume d'annexes
- Bourgeois M. (1965) - Forage expérimental de St-Christoly de Médoc (Gironde). Exposé succinct du but et des résultats acquis début mai 1966.
Rapport BRGM DSGR 66 A 41 - 7 p., 4 pl. Annexes
- Castaing P. (1981) - Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes: cas de la Gironde.
Thèse Doct. Etat ès Sciences, Bordeaux I, 530 p.
- CETE Bordeaux (1971) - Port du Verdon - Synthèse géologique - site terrestre - site nautique.
28 p., 6 pièces annexes
- CGG (1967) - Reconnaissance par prospection électrique dans la région de Soulac- St-Vivien - Queyrac - Rapport CGG, 18 p., 3 pl.

- CGG (1969) - Reconnaissance par prospection électrique le long du littoral atlantique entre Soulac- Amélie et Cazaux et sur les rives de la Gironde. Rapport CGG, 34 p., 16 pl.
- Cremer M. (1975) - Etude dynamique de l'évolution des bancs de sable dans l'estuaire de la Gironde. Thèse 3^o cycle Bordeaux I, 109 p.
- Daum J.R. avec la collaboration de Bakalowicz M., Chery L., Longin G (1996) - Méthodes et moyens de contrôle des biseaux salés dans les aquifères littoraux.
Rapport BRGM R 38847 - 77 p., 27 fig., 5 tab.
- Dubreuilh J. (1976) - Contribution à l'étude sédimentologique du système fluvial Dordogne-Garonne dans la région bordelaise. Les ressources en matériaux alluvionnaires du département de la Gironde. Thèse Doct. Univ Bordeaux I, 273 p.
- Dubreuilh J. (1987) - Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluviaux tertiaires du Nord du Bassin d'Aquitaine. Passages aux formations palustres, lacustres et marines. Thèse Doct. d'Etat ès-Sciences, Bordeaux III, 481 p. *Documents du BRGM* n° 172 (1989).
- Dubreuilh J., Capdeville J.P., Farjanel G., Karnay G., Platel J.P, Simon-Coinçon R. (1995) - Dynamique d'un comblement continental durant le Néogène et le Quaternaire: l'exemple du Bassin d'Aquitaine. *Géologie de la France.*, n° 4, p. 3-26
- Dubreuilh J., Marionnaud J.M (1973) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Lesparre-Médoc - Le Junca (754) - Orléans : BRGM. Notice explicative par Dubreuilh J. et Marionnaud J.M. (1973), 47 p.
- Dubreuilh J., Marionnaud J.M., Capdeville J.P., Cassoudebat M., Platel J.P. avec collaboration de Andreieff P. (1972) - Carte géologique France (1/50 000), feuilles Saint Laurent et Benon-Etang de Carcans (777-778). - Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières. - Notice explicative par Marionnaud J.M. et Dubreuilh J. (1977), 25 p.
- Feral A. (1970) - Interprétation sédimentologique et paléogéographique des formations alluviales de l'estuaire de la Gironde et de ses dépendances marines.
Thèse 3^o cycle Bordeaux I, 158 p.
- Horn R. (1967) - Essais géophysiques effectués dans l'estuaire de la Gironde.
Rapport BRGM DSGR 67 B 49 - 5 p., 2 pl. annexes
- Jouanneau J.M. (1979) - Evaluation du volume et de la masse de matières en suspension dans le système bouchon vaseux-crème de vase de la Gironde. *Bull. IGBA* - n° 25, p.111-120
- Landry J. (1969) - Reconnaissance géologique dans l'estuaire de la Gironde - Résultats et interprétation des coupes lithologiques de sondages.
Rapport BRGM 69 SGL 137 AQI - 31 p., 17 pl., 330 annexes
- Landry J. (1969) - Reconnaissance géologique dans l'estuaire de la Gironde - Synthèse géologique et géotechnique des documents analytiques.
Rapport BRGM 69 SGL 239 AQI - 114 p., 18 pl. annexes

- Lavigne J., Marionnaud J.M., Kromm F. (1970) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Montendre (755) - Orléans : BRGM. Notice explicative par Kromm F. , Lavigne J., Marionnaud J.M., (1970), 20 p.
- Marionnaud J.M., Dubreuilh J. (1972) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille St-Vivien de Médoc (730) - Orléans : BRGM. Notice explicative par Dubreuilh J. et Marionnaud J.M. (1972), 41 p.
- Mouline M.P. (1979) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Blaye (779) - Orléans : BRGM. Notice explicative par Mouline M.P. et Moussié B. (1979), 45 p.
- Platel J.P. (1987) - Le Crétacé supérieur de la plate-forme septentrionale du bassin d'Aquitaine. Stratigraphie et évolution géodynamique.
Thèse Doct. d'Etat ès Sciences, Bordeaux III, 573 p. avec atlas. *Documents BRGM*, n° 164 (1989).
- PORT AUTONOME DE BORDEAUX (1973) - Etude sur le banc de St-Estèphe, 12 p. et ann.



*Annexe 1 - Carte des résistivités apparentes de la tranche 0 - 250 m de profondeur
 déterminées par la campagne géophysique CGG de 1969*

BRGM
SERVICE GÉOLOGIQUE REGIONAL AQUITAINE
avenue du Docteur Albert Schweitzer - 33600 PESSAC
Tél. : (33) 57.35.03.50 - Fax : (33) 57.35.03.51

Carte géologique du secteur de l'Estuaire de la Gironde en écorché sous les terrains quaternaires

Relations entre l'Estuaire de la Gironde
et la nappe de l'Eocène

Année 1

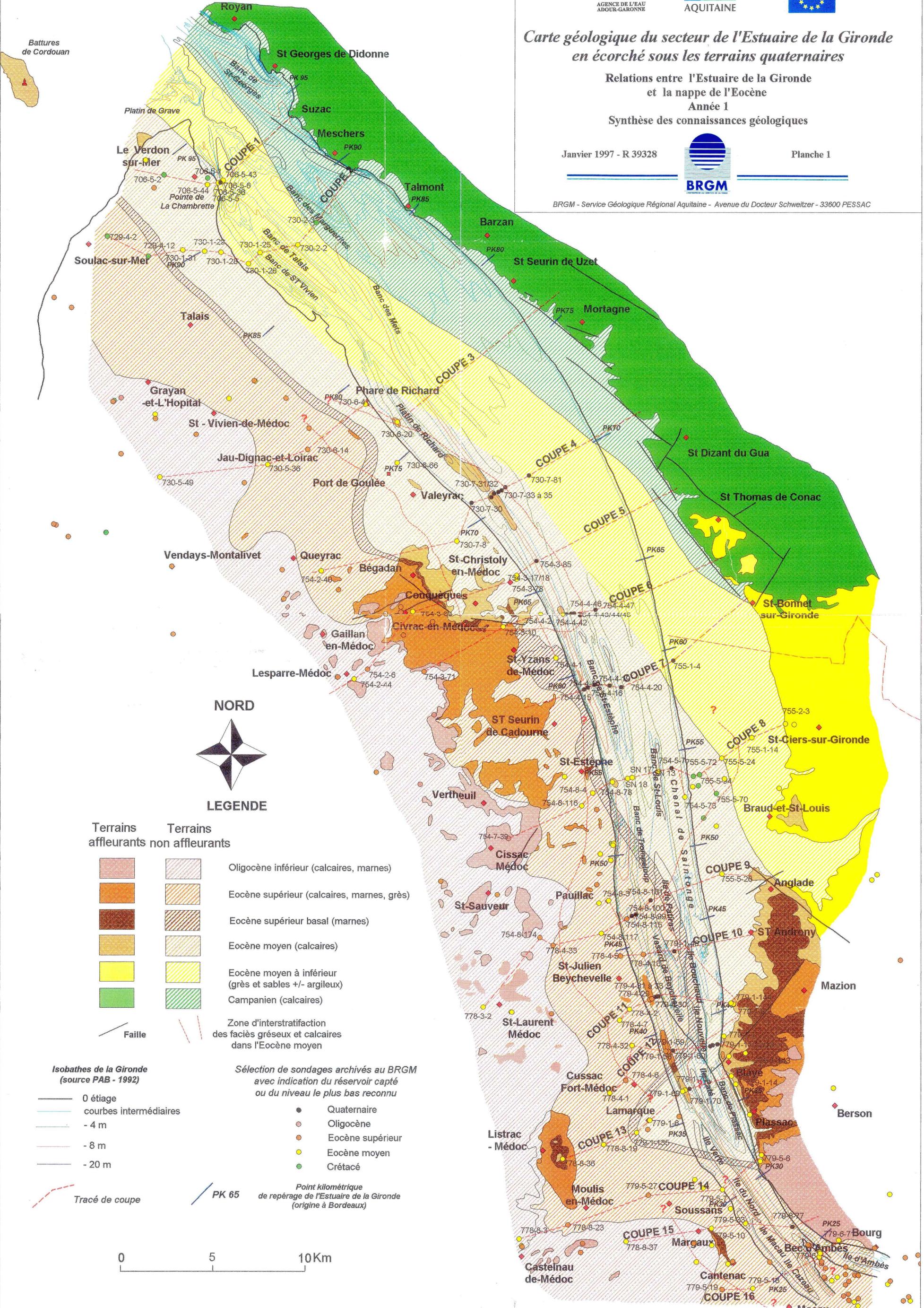
Synthèse des connaissances géologiques

Janvier 1997 - R 39328



Planche 1

BRGM - Service Géologique Régional Aquitaine - Avenue du Docteur Schweitzer - 33600 PESSAC



Terrains affleurants	Terrains non affleurants	Description
		Oligocène inférieur (calcaires, marnes)
		Eocène supérieur (calcaires, marnes, grès)
		Eocène supérieur basal (marnes)
		Eocène moyen (calcaires)
		Eocène moyen à inférieur (grès et sables +/- argileux)
		Campanien (calcaires)
		Zone d'interstratification des faciès gréseux et calcaires dans l'Eocène moyen
		Faïlle

Isobathes de la Gironde (source PAB - 1992)

- 0 étiage
- courbes intermédiaires
- 4 m
- 8 m
- 20 m

Sélection de sondages archivés au BRGM avec indication du réservoir capté ou du niveau le plus bas reconnu

- Quaternaire
- Oligocène
- Eocène supérieur
- Eocène moyen
- Crétacé

Point kilométrique de repérage de l'Estuaire de la Gironde (origine à Bordeaux)





Carte de l'épaisseur estimée des dépôts holocènes imperméables à semi-perméables

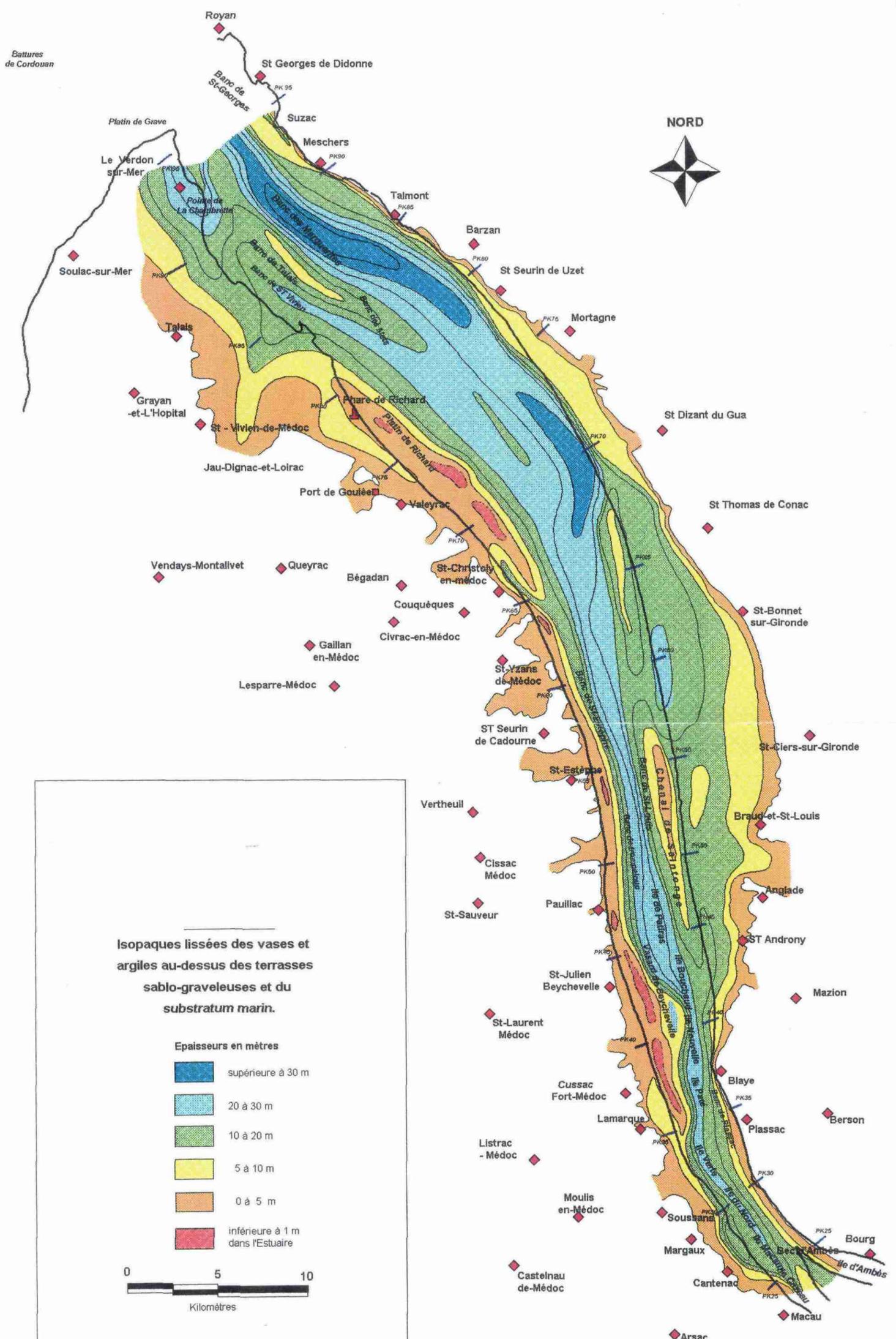
Relations entre l'estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène
-Année 1-
Synthèse des connaissances géologiques

Janvier 1997 - R 39328



Planche 2

BRGM - Service géologique Régional Aquitaine - Avenue du Docteur Schweitzer - 33600 PESSAC



Prospection géophysique Carte de situation des sondages électriques

Relations entre l'Estuaire de la Gironde et la nappe de l'Eocène
Année 1
Synthèse des connaissances géologiques

Janvier 1997 - R 39328

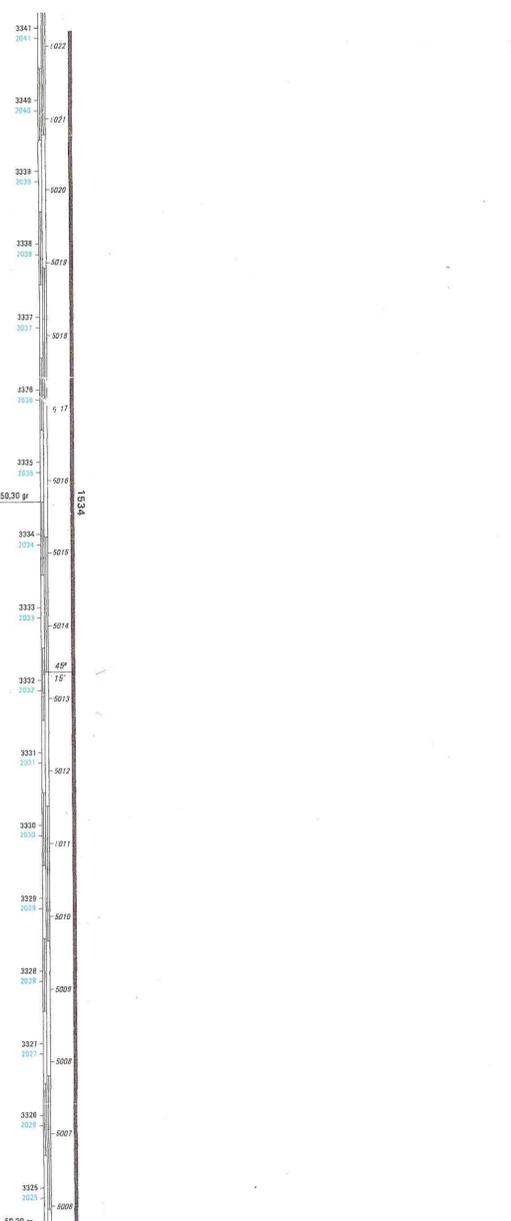
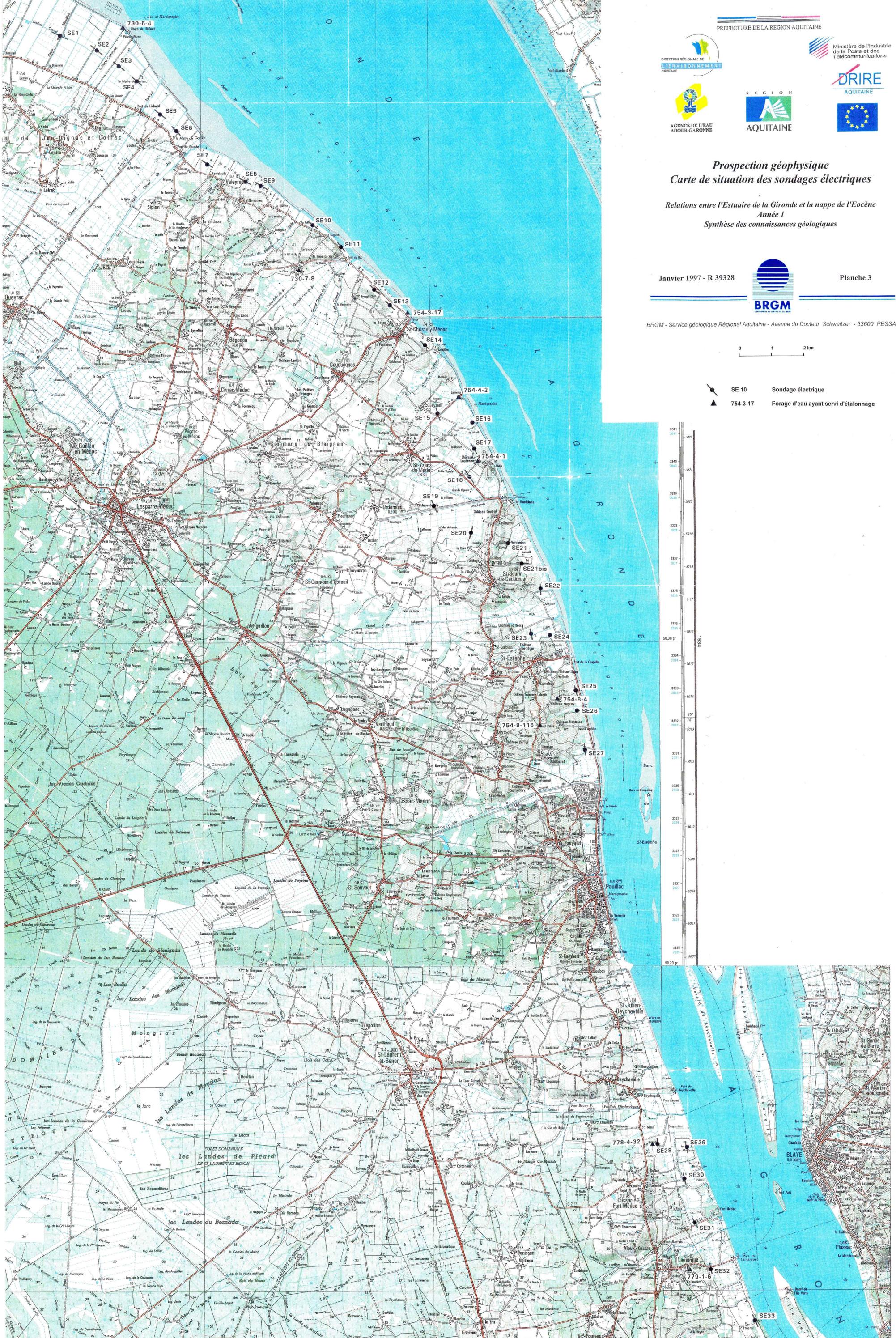


Planche 3

BRGM - Service géologique Régional Aquitaine - Avenue du Docteur Schweitzer - 33600 PESSAC

0 1 2 km

- SE 10 Sondage électrique
- 754-3-17 Forage d'eau ayant servi d'étalonnage





Coupe profondeur
Zone nord

Prospection géophysique - Estuaire de la Gironde - Pauillac (33)

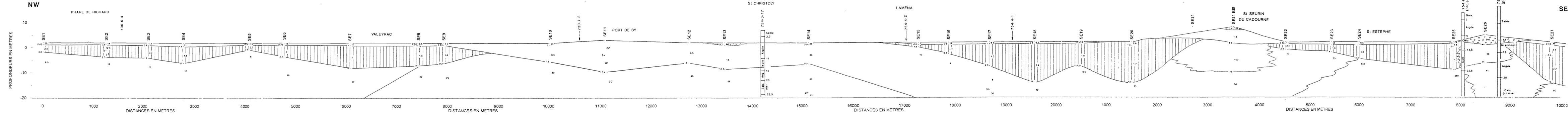
Janvier 1997 - R 39328
Planche 4



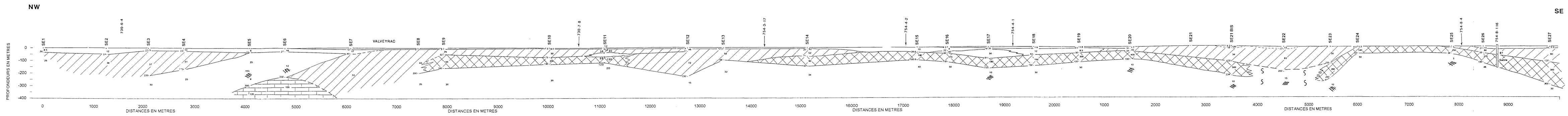
BRGM - Service géologique Régional Aquitaine - Avenue du Docteur Schweitzer - 33600 PESSAC

LEGENDE

	Gravier		Profondeur en mètres
	Horizon superficiel salé		Résistivité vraie en ohms mètre
	Résistant intermédiaire		730-7-8 Forage d'étalonnage
	Réservoir aquifère		
	Résistant profond		
	Possible invasion salée en profondeur		
	Accident possible		



Echelle horizontale : 1/25 000
Echelle verticale : 1/500



Echelle horizontale : 1/25 000
Echelle verticale : 1/10 000

PREFECTURE DE LA REGION AQUITAINE



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE



*Coupe profondeur
Zone sud*

Prospection géophysique - Estuaire de la Gironde - Pauillac (33)

Janvier 1997 - R 39328



Planche 5

BRGM

BRGM - Service géologique Régional Aquitaine - Avenue du Docteur Schweitzer - 33600 PESSAC

LEGENDE



Gravier



Horizon superficiel salé



Résistant intermédiaire



Réservoir aquifère



Résistant profond

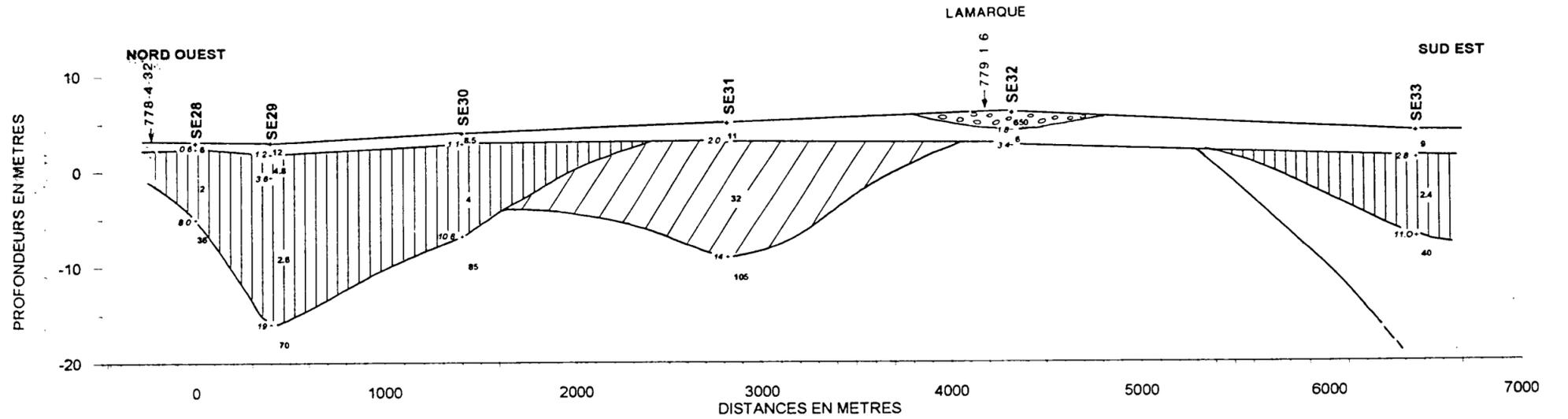


Accident possible

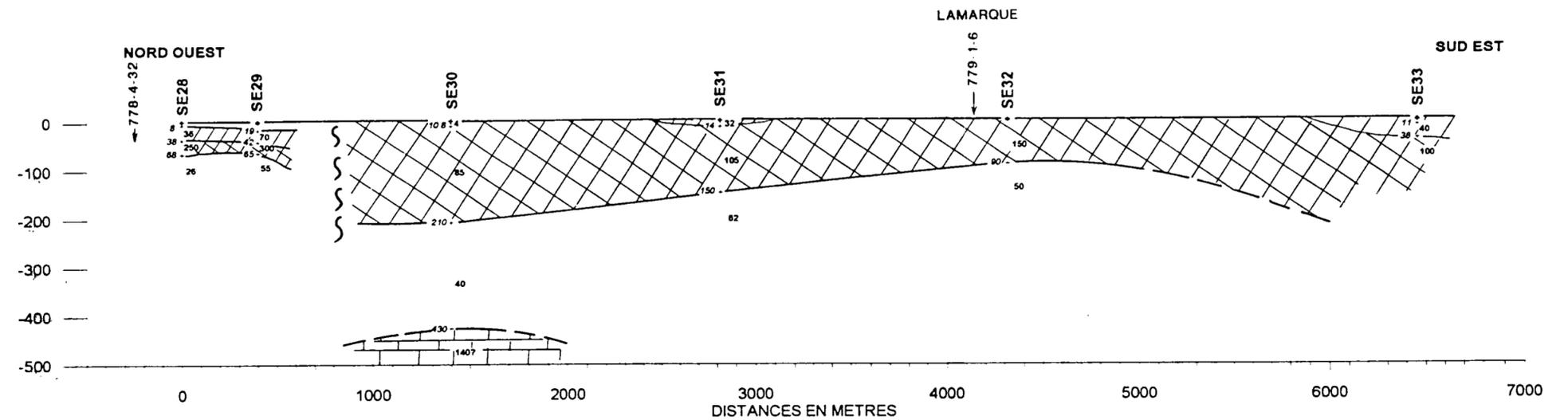
∞ - Profondeur
en mètres

150 Résistivité vraie
en ohms mètre

779-1-6 Forage d'étalonnage



Echelle horizontale : 1/25 000
Echelle verticale : 1/500



Echelle horizontale : 1/25 000
Echelle verticale : 1/10 000