

DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE DU GARD

**ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE
DE LA COSTIÈRE - VISTRENQUE (Gard)**

Rapport n° 1

par

X. POUL

avec la collaboration de

F. BAYER et C. BUARD



Bureau de Recherches
Géologiques et Minières
BIBLIOTHEQUE

BUREAU de RECHERCHES GÉOLOGIQUES et MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Service géologique régional LANGUEDOC – ROUSSILLON

Mas Jausserand, La Pompignane, 34000 Montpellier

Tél. : (67) 92.93.31

75 SGN 220 LRO

Montpellier, le 16 Juillet 1975

RESUME

La Direction départementale de l'Agriculture du Gard a demandé au Service géologique régional Languedoc-Roussillon du Bureau de recherches géologiques et minières d'évaluer les ressources en eau souterraine de la Vistrenque.

Cet aquifère constitue, entre la Garrigue nîmoise et la Costière, une zone déprimée de 5 km de largeur environ, allongée sur une trentaine de km selon une direction NE-SW.

Pour atteindre l'objectif défini ci-dessus, il a été convenu de recueillir, dans une première phase, les informations géologiques et hydrodynamiques concernant le réservoir aquifère de la Vistrenque dont la synthèse est présentée dans ce rapport qui comprend en particulier une carte hydrogéologique à l'échelle 1/50 000.

L'acquisition des données nécessaires à l'élaboration, dans une seconde phase, d'un modèle mathématique qui constituera un instrument de prévision et de gestion, a été effectuée à partir de septembre 1973 sur une période de 15 mois environ. Elle a nécessité :

- une prospection géophysique comportant une centaine de sondages électriques ;
- l'exécution d'une quinzaine de sondages mécaniques ;
- l'établissement d'une carte piézométrique au cours de l'été 1973 et la détermination de l'amplitude des variations de pression de l'aquifère dans le temps et dans l'espace ;
- une quarantaine de pompages d'essai ;
- une analyse des données météorologiques et hydrométriques ;
- une enquête auprès des principaux utilisateurs sur les volumes d'eau prélevés dans la Vistrenque et apportés pour l'irrigation à la surface de cet aquifère.

Les opérations précédentes ont permis de déterminer en particulier :

- la géométrie du réservoir et sa constitution lithologique ;
- ses caractéristiques hydrodynamiques ;
- les conditions aux limites, notamment les liaisons avec le Vistre et avec la Garrigue calcaire ;
- les conditions hydrodynamiques : nappe libre ou captive ;
- un ordre de grandeur du débit naturel moyen et le régime de variation de l'alimentation par l'élaboration du modèle MERO qui a permis de calculer l'infiltration efficace sur le bassin versant du Vistre.

On peut retenir les principales informations suivantes pour caractériser schématiquement le réservoir aquifère de la Vistrenque :

- Structure et constitution lithologique

Deux accidents majeurs - la faille de Nîmes et la flexure de Vauvert - compartimentent le bassin du Vistre en trois unités qui sont, du Nord au Sud :

. La Garrigue, caractérisée par la prédominance d'assises calcaires plus ou moins karstifiées séparées par des épisodes marneux du Crétacé inférieur.

. La Vistrenque, effondrée en graben par rapport à la Garrigue, au sud de la faille de Nîmes.

. La Costière, qui domine la dépression de la Vistrenque.

L'ensemble de ces deux dernières unités est constitué par des faciès plio-quadernaires : l'"ancien" Rhône a déposé des cailloutis comprenant essentiellement des petits galets de quartzites enrobés dans une matrice sableuse sur un substratum pliocène marin imperméable

- Géométrie du réservoir

Le toit du substratum est situé entre les cotes 60 NGF, à l'extrémité amont du couloir de la Vistrenque et - 10 NGF à son extrémité aval. L'épaisseur des cailloutis augmente en général de l'amont, où elle est comprise le plus souvent entre 6 et 10 m, vers l'aval, où elle atteint en moyenne une vingtaine de mètres au nord de Vauvert ; sa valeur maximale est voisine de 27 m.

On peut estimer en première approximation à 2 milliards de m^3 le volume des cailloutis aquifères au cours de l'étiage 1973.

Pour une porosité efficace de 5 %, le volume d'eau de la zone saturée serait de l'ordre de 100 millions de m^3 . Les cartes des courbes de niveau du toit et du mur des cailloutis synthétisent les informations concernant la géométrie du réservoir.

- Piézométrie

La carte des courbes hydro-isohypses fait apparaître clairement :

- . le drainage de la Vistrenque par le Vistre à l'aval de Marguerittes,
- . une alimentation par la Garrigue au Nord et par la Costière au Sud,

Le gradient varie entre 1 et 2 ‰ suivant la direction NE-SW de l'écoulement des eaux souterraines dans la partie située à l'aval du cours supérieur du Vistre.

Pour 80 % des points d'eau, l'amplitude des variations piézométriques annuelles est comprise entre 1,50 et 3,50 m ; elle atteint 4,50 m dans les zones de piémont de la Garrigue et de la Costière.

- Paramètres hydrodynamiques

. Transmissivité (T)

La valeur médiane de T - 58 valeurs - est égale à 5×10^{-3} m²/s. Les valeurs les plus élevées de T sont de l'ordre de 2×10^{-2} m²/s. Sur la Costière au sud de la flexure de Vauvert, T est de l'ordre de 1×10^{-4} m²/s.

En bordure du Vistre T est en général compris entre 5 et 10×10^{-3} m²/s.

. Emmagasinement (S)

Les valeurs médianes de S - 21 valeurs - sont respectivement de 5×10^{-2} lorsque la nappe est libre, et $1,2 \times 10^{-3}$ lorsque l'aquifère est captif soit dans la zone de piémont de la Garrigue et lorsque le remplissage limoneux de la Vistrenque, au voisinage du Vistre, a une épaisseur suffisante.

- Conditions aux limites

Le Vistre se comporte comme une limite d'alimentation à potentiel constant ; son lit entaille la couverture limoneuse jusqu'au toit des cailloutis.

Les pompages d'essai effectués dans certains ouvrages de captage implantés dans la zone de piémont de la Garrigue, ont été caractérisés par l'établissement d'un régime d'écoulement permanent après un temps de pompage relativement court, de l'ordre d'une heure.

Il existe cependant dans cette zone une indétermination majeure sur le processus de réalimentation de l'aquifère.

Nous proposons d'effectuer un pompage d'essai de longue durée sur les 2 puits de la commune de Marguerittes, à un débit global de 600 m³/h pour lever cette indétermination.

- Infiltration efficace sur le bassin versant du Vistre (490 km²)

L'application du modèle MERO a permis de calculer les valeurs de l'infiltration efficace et de rendre compte de l'évolution des réserves en eau souterraine du bassin versant du Vistre.

Les lames d'eau et volumes annuels infiltrés sur le bassin versant du Vistre, pour la période 1968/1972, sont les suivants :

1968/1969	.....	97 mm	.....	47 millions de m ³
1969/1970	.....	158 mm	.....	77 millions de m ³
1970/1971	.....	190 mm	.....	93 millions de m ³
1971/1972	.....	261 mm	.....	128 millions de m ³

- Gestion des eaux superficielles souterraines en Costière-Vistrenque

. Volume des apports annuels

Irrigation (1973) : 21 millions de m³. Ce volume est consommé essentiellement par évapotranspiration et ne participe que d'une manière très accessoire à l'alimentation du réservoir aquifère.

Eaux souterraines de la nappe alluviale du Rhône pour l'alimentation en eau de la ville de Nîmes : 20 millions de m³. Ce volume transite par la Vistrenque sans l'alimenter. Il pourrait cependant contribuer à réalimenter ce réservoir, dans la mesure où celui-ci serait exploité d'une manière suffisante pour inverser le gradient en bordure du Vistre.

. Volume des prélèvements dans le réservoir aquifère

Alimentation en eau potable	.....	4,4 millions de m ³
Eau industrielle	.....	3,1 millions de m ³
Irrigation (1973)	.....	3,3 millions de m ³
Total	.....	10,8 millions de m ³

Le traitement des informations précédentes par un modèle mathématique permettra de simuler le comportement de l'aquifère dans des conditions variables d'alimentation et de prélèvements.

SOMMAIRE

Pages

RESUME

SOMMAIRE

LISTE DES ANNEXES

1 - <u>INTRODUCTION</u>	1
2 - <u>CADRE PHYSIQUE DU BASSIN DU VISTRE</u>	4
2.1 - Aperçu morphologique et réseau hydrographique	4
2.1.1 - Situation géographique	4
2.1.2 - Aperçu morphologique	4
2.1.3 - Réseau hydrographique	6
2.2 - Géologie	7
2.2.1 - Histoire géologique - Structure	7
2.2.2 - Lithostratigraphie	9
2.2.2.1 - La Garrigue	9
2.2.2.2 - L'ensemble Costière-Vistrenque	10
2.3 - Hydrogéologie	12
2.3.1 - La Garrigue	12
2.3.2 - L'ensemble Costière-Vistrenque	14
3 - <u>CONSTITUTION LITHOLOGIQUE ET GEOMETRIE DU RESERVOIR AQUIFERE</u>	16
3.1 - Constitution lithologique	16
3.1.1 - Les cailloutis villafranchiens	16
3.1.2 - Les formations quaternaires	17
3.1.2.1 - Origine des différentes formations	17
3.1.2.2 - Description des formations quaternaires	18
3.2 - Géométrie du réservoir aquifère	20
3.2.1 - Résultats de la prospection électrique	20
3.2.2 - Résultats des sondages mécaniques	26
3.2.3 - Présentation des résultats concernant la géométrie du réservoir aquifère	26

4 - <u>CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DU RESERVOIR AQUIFERE</u>	29
4.1 - Piézométrie	29
4.1.1 - Carte piézométrique en période d'étiage	29
4.1.2 - Variations saisonnières de la surface piézométrique	31
4.2 - Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère - Transmissivité et coefficient d'emmagasinement	34
4.2.1 - Généralités	34
4.2.2 - Déroulements des pompages d'essais	35
4.2.3 - Interprétation des pompages d'essais : évaluation de T et S	37
4.2.4 - Présentation des résultats concernant les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère	38
4.2.5 - Exploitation des valeurs de T et S	41
4.3 - Conditions aux limites du réservoir aquifère	43
4.3.1 - Liaison hydraulique du Vistre avec le réservoir aquifère	43
4.3.2 - Modalités de réalimentation de la Vistrenque dans la zone de piémont de la Garrigue	45
4.3.2.1 - Puits n° 965-6-169	45
4.3.2.2 - Puits n° 965-2-152	48
5 - <u>EVALUATION DE L'INFILTRATION EFFICACE - APPLICATION DU MODELE MERO AU BASSIN VERSANT DU VISTRE</u>	52
5.1 - Principe	52
5.2 - Données utilisées	52
5.2.1 - Précipitations	52
5.2.2 - L'évapotranspiration	53
5.2.3 - Les irrigations	55
5.2.4 - L'alimentation en eau de la ville de Nîmes	57
5.2.5 - Les débits moyens journaliers du Vistre	57
5.3 - Calage du modèle	58
5.4 - Présentation et analyses des résultats	58
5.4.1 - Présentation des résultats	58
5.4.2 - Comparaison alimentation-débit	59
5.4.3 - Comparaison infiltration-pluie	61
5.5 - Conclusion	61

6 - <u>GESTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES EN COSTIERE</u>	
<u>VISTRENQUE</u>	63
6.1 - Irrigation par le réseau CNABRL	63
6.2 - Alimentation en eau de la ville de Nîmes	64
6.3 - Exploitation actuelle de la Vistrenque	66
6.3.1 - Alimentation en eau potable	66
6.3.2 - Prélèvements d'eaux souterraines pour les industries	70
6.3.3 - Prélèvements d'eaux souterraines pour l'irrigation	71
6.4 - Qualité des eaux souterraines de la Costière-Vistrenque	74
7 - CONCLUSION	77

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 - Carte hydrogéologique de la Vistrenque à 1/50 000.
- ANNEXE 2 - Carte des isohypses du toit des cailloutis à 1/50 000.
- ANNEXE 3 - Coupes de quelques sondages archivés au titre du Code minier, ayant atteint le substratum imperméable des cailloutis aquifères de la Costière-Vistrenque.
- ANNEXE 4 - Principaux renseignements concernant les sondages effectués par l'entreprise "SUD-EST FORAGES", en décembre 1974 et janvier 1975.
- ANNEXE 5 - Limnigrammes des piézomètres 965-2-151 ; 991-4-284 ; 965-5-95 ; 965-3-216.
- ANNEXE 6 - Tableau des mesures piézométriques effectuées en Costière-Vistrenque de septembre 1973 à décembre 1974.
- ANNEXE 7 - Tableau des paramètres hydrodynamiques du réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque.
- ANNEXE 8 - Indice de classement des puits ou forages figurant sur les cartes à 1/100 000 de l'annexe 1.
- ANNEXE 9 - Limnigrammes des puits 965-2-151 (P1) et 965-2-152 (P2) au cours du pompage d'essai dans le puits P2.

1 - INTRODUCTION

L'étude hydrogéologique de la Vistrenque a fait l'objet d'un marché passé entre la Direction départementale de l'Agriculture du Gard et le Service géologique régional Languedoc Roussillon du Bureau de recherches géologiques et minières.

Cet aquifère se présente sous la forme d'un couloir de 5 km de largeur environ, allongé sur une trentaine de km, selon une direction NE-SW. Occupé par des formations détritiques déposées par un ancien lit du Rhône, il est bordé au Nord par les reliefs des Garrigues et au Sud par le plateau conglomératique de la Costière qui constitue un réservoir aquifère médiocre en position plus ou moins perchée par rapport au couloir de la Vistrenque.

Plusieurs millions de m³ d'eau par an sont prélevés dans la Vistrenque, qui est exploitée par plusieurs centaines d'ouvrages de captage, dont le débit varie entre quelques m³/h et 200 m³/h environ. Ces ouvrages alimentent en eau potable une vingtaine de communes rurales, dont la population globale est de l'ordre de 40 000 habitants. La Vistrenque est également exploitée pour l'irrigation et pour couvrir des besoins en eau industrielle.

Depuis quelques années, l'agriculture bénéficie par ailleurs de l'eau du Rhône transportée par le réseau de la Compagnie nationale d'aménagement du Bas-Rhône Languedoc. Après traitement, l'eau du Rhône a été également utilisée pour alimenter certaines communes en eau potable. Le prélèvement dans le réseau CNABRL, dont le canal principal a été calibré pour transporter 75 m³/h, ne pose pas de problème majeur. Pour les usages domestiques, toutefois, les responsables des différents services administratifs et des collectivités locales hésitent le plus souvent à accepter cette facilité et préfèrent utiliser des eaux souterraines.

Devant l'augmentation des besoins en eau potable due à l'accroissement démographique et accessoirement à l'amélioration du niveau de vie, il est ainsi apparu opportun d'entreprendre les études nécessaires pour évaluer les ressources en eau souterraine de la Vistrenque, et définir les conditions optimales de son utilisation, au point de vue hydrogéologique.

Pour atteindre cet objectif, il a été convenu de recueillir dans

une première phase, les informations géologiques et hydrodynamiques concernant ce réservoir aquifère, dont la synthèse est présentée dans ce premier rapport.

Il est prévu, dans une seconde phase, de traiter les informations précédentes par un modèle mathématique en vue de simuler le comportement de l'aquifère dans des conditions variables. A l'issue des opérations de calage, l'exploitation de ce modèle devra permettre de déterminer les ressources en eaux souterraines selon diverses hypothèses d'alimentation et de prélèvement ; il constituera ainsi un instrument de prévision et de gestion.

L'acquisition des données nécessaires à l'élaboration du modèle de simulation a été effectuée à partir de septembre 1973 sur une période de 15 mois environ. Elle a nécessité :

- l'examen de la documentation existant dans les archives des services administratifs, de l'Université de Montpellier, de la CNABRL et du BRGM ;

- des observations, mesures et travaux complémentaires sur le terrain, qui ont comporté :

- . une prospection par une centaine de sondages électriques,
- . l'exécution d'une quinzaine de sondages mécaniques,
- . le repérage des points d'eau et la mesure des niveaux piézométriques au cours de l'étiage 1973,
- . les mesures mensuelles des niveaux piézométriques sur une quarantaine de points d'eau dont 4 ont été équipés de limnigraphes,
- . une quarantaine de pompages d'essai pour déterminer, en particulier, les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère et dans un certain nombre de cas, les conditions aux limites,
- . une enquête auprès des principaux utilisateurs pour évaluer les volumes d'eau prélevés dans la Vistrenque ou apportés pour l'irrigation et l'alimentation en eau de la ville de Nîmes.

La synthèse des informations géologiques et hydrodynamiques est présentée dans ce premier rapport qui comprend en particulier une carte hydrogéologique de la Vistrenque à l'échelle 1/50 000.

Les principaux chapitres de ce rapport concernent :

- le cadre physique (morphologie, géologie et hydrogéologie) du Bas-sin du Vistre ;

- la géométrie du réservoir : délimitation, dimensions, et sa constitution lithologique ;

- ses caractéristiques hydrodynamiques :

- . variations de la pression dans l'espace et dans le temps,
- . évaluation des paramètres : transmissivité et coefficient d'emmagasinement,
- . conditions aux limites, notamment les liaisons avec le Vistre et avec les Garrigues calcaires,
- . conditions hydrodynamiques : nappe libre ou captive ;

- l'analyse des données hydrométéorologiques et hydrométriques recueillies auprès des organismes suivants : S.R.A.E., C.N.A.B.R.L. et Météorologie nationale, qui a permis en particulier d'élaborer un modèle global du bassin (Modèle MERO) pour le calcul de l'infiltration efficace ; ;

- l'évaluation des débits prélevés dans la Vistrenque, à usage alimentaire, agricole et industriel ou apportés pour l'irrigation et l'alimentation en eau d'un certain nombre de communes.

Outre les auteurs cités en tête du rapport, ont collaboré aux études et travaux dont les résultats sont présentés dans ce rapport :

- L'entreprise SUD-EST FORAGES, pour l'exécution des sondages mécaniques,
- A. CAMUS et A. SUAVET, pour l'inventaire des points d'eau, les mesures de pression et l'exécution des pompages d'essai,
- JP. VIALA, pour l'exécution des sondages électriques,
- G. JUNCY, pour l'établissement de la carte hydrogéologique,
- Le Département AMENAGEMENT du BRGM à Orléans, pour la réalisation du Modèle MERO.

2 - CADRE PHYSIQUE DU BASSIN DU VISTRE

Seule la partie plio-quadernaire correspondant à la Costière-Vistrenque fera l'objet, dans les chapitres suivants, d'une étude hydrogéologique détaillée qui concernera en particulier la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir aquifère. Auparavant, il nous est apparu utile de présenter un aperçu sur la morphologie, la géologie et l'hydrogéologie du bassin d'alimentation du Vistre. On apportera ainsi des informations sur les conditions aux limites du réservoir aquifère de la Vistrenque.

2.1 - APERÇU MORPHOLOGIQUE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

2.1.1 - Situation géographique

Le bassin versant du Vistre, tel qu'il est défini sur la carte à 1/50 000 de l'annexe n° 1, est limité :

- Au Nord, par la ligne de crête qui circonscrit le versant sud des Garrigues (d'Est en Ouest : Ledenon, Cabrières, Poulx, cote 161 sur la RN 579, au sud du camp des Garrigues, Mas de Ponge).

- A l'Est, par la cuesta surplombant le Gardon.

- Au Sud, par la ligne de crête des Costières du Gard (ligne Vauvert, Beauvoisin, Générac, Garons, sud de Manduel, et nord de la dépression de Jonquières et St Vincent).

- A l'Ouest par la ligne de crête entre le Rhône et le Vistre, Vergèze, Codognan et le Cailar.

La superficie du bassin versant du Vistre défini ci-dessus, est de 490 km², dont près de la moitié appartient au domaine des Garrigues.

2.1.2 - Aperçu morphologique

Les caractères morphologiques du bassin versant du Vistre procèdent essentiellement de son histoire géologique qui sera évoquée dans la suite du chapitre.

3 unités géographiques principales, allongées suivant une direction NE-SW constituent le bassin versant du Vistre :

- . au Nord, le versant sud des Garrigues ;
- . au centre, la dépression de la Vistrenque ;
- . au Sud, le versant nord de la Costière du Gard.

- La Garrigue de Nîmes en est l'unité la plus élevée. Elle s'étend de Vergèze à Lédénon sur 30 km de longueur présentant à la fois l'aspect de collines à pentes douces et celui de plateaux légèrement ondulés, qui culminent à l'altitude de 200 - 210 m.

Le relief, en particulier les "vallées" - d'orientation Est-Ouest - est lié à la structure plissée selon des axes plus ou moins parallèles à cette direction.

La Garrigue est sillonnée par de nombreux "cadereaux" , d'orientation N-S, généralement secs en temps ordinaire.

On oppose souvent la "Garrigue rocheuse", établie sur les calcaires de faciès urgonien, à la Garrigue marno-calcaire, établie sur les calcaires et marnes de l'Hauterivien et du Barrémien inférieur. Les formes karstiques sont évidemment plus développées dans la Garrigue rocheuse.

Région calcaire, caillouteuse, à relief vigoureux, la Garrigue est le domaine de sols pauvres, squelettiques, en général recouverts d'une végétation buissonnante, à caractère xérophile accusé.

Le contact entre la Garrigue et la plaine du Vistre correspond à un glacis de faible pente, constitué de cailloutis calcaires anguleux et de limons, voué à la culture de la vigne et des arbres fruitiers, maintenant urbanisé sur la moitié de sa surface.

- La Vistrenque correspond à un couloir de 5 km de largeur dont la pente moyenne, suivant une direction NE-SW, est de l'ordre de 2 ‰.

Plaine humide, jadis marécageuse, son drainage a permis le développement de la polyculture qui recule cependant devant le front d'urbanisation de la ville de Nîmes.

- La Costière est un plateau dont l'altitude est peu élevée, de l'ordre de 60 à 90 m. Elle est séparée de la Vistrenque par un talus relativement doux, correspondant à la flexure post-villafranchienne, indiquée sur la carte à 1/50 000

de l'annexe n° 1, qui disparaît entre Bouillargues et Manduel ; le plateau de la Costière se raccorde alors à la plaine de la Vistrenque, sans rupture de pente.

Les sols anciens, développés sur les formations détritiques des Costières souvent rouges, marquent fortement le paysage.

Les travaux d'irrigation effectués au cours des dernières années ont permis l'extension de la polyculture.

2.1.3 - Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique localisé dans la dépression de la Vistrenque, est diffus, se perdant en multiples ramifications de faible importance, qui donnaient à la Vistrenque son aspect marécageux avant l'aménagement du réseau de drainage.

Il n'existe pas de réseau hydrographique bien marqué dans la partie supérieure de la Vistrenque (en amont de Rodilhan). Le cours d'eau principal, le Vistre, n'est qu'un modeste ruisseau ; il n'apparaît qu'à proximité de Bezouze, où il est connu sous le nom de Valat du Vistre. Il coule alors en direction NE-SW, jusqu'à proximité de Vestric où son cours prend progressivement une direction N-S. Après un parcours de 46,5 km, il débouche dans le canal du Rhône à Sète, au nord d'Aigues-Mortes, par l'intermédiaire d'un chenal artificiel.

Redressé à partir du Cailar, vers 1790, le Vistre allait autrefois se perdre en partie dans les marais de Psalmody et d'Aigues-Mortes. Un redressement de son cours, en aval de Caissargues, s'est par ailleurs récemment opéré, accompagné d'un recalibrage du lit, permettant de protéger les riverains. D'une manière plus générale, le Vistre coule dans un lit qui a tendance à devenir artificiel, à la suite de travaux répétés de drainage et curage.

La pente moyenne du Vistre, entre Bezouze et son embouchure, est de 1,3 ‰.

La pente du cours supérieur, en amont de Rodilhan, est de 3 ‰.

Aucune rupture de pente, naturelle ou artificielle, n'existe. Le Vistre est un ruisseau de plaine sans ambition, malgré sa pente relativement forte.

Le Vistre reçoit, sur sa rive droite, d'une part, les égouts de la ville de Nîmes alimentée à partir de la nappe alluviale du Rhône — station de pompage de Comps — et d'autre part, les ruisseaux issus de la Garrigue.

Le petit Vistre, alimenté par la Fontaine de Nîmes et le Rhône qui draine

la Vaunage, sont les seuls affluents permanents, les autres ruisseaux ne transportent de l'eau qu'en période de précipitations d'intensité suffisante ; ce sont :

. le Canabou, au niveau de Marguerittes, formé par l'écoulement des évents de la Fouze et du Fouzeron ;

. les cadereaux, descendant des Garrigues, qui collectent les eaux usées de la ville de Nîmes ;

. le ruisseau de Pondre, à l'est de Milhaud ;

. le Valat de Larrière et le Valat de Chivalas, à l'amont d'Aubord ;

. le Valat de Vallongue, au niveau de Bernis ;

. le Rezil, à Vestric et Candiac.

Les affluents de la rive droite, situés à l'ouest de Nîmes, parviennent difficilement jusqu'au lit du Vistre.

Parmi les affluents de la rive gauche, seul le Buffalon a quelque importance. Il sort, à l'est de Bezouze, de la dépression de Pazac, draine en Costière la dépression de Manduel - Redessan, et rejoint le Vistre à proximité de Rodilhan.

Les Valats du Grand et du Petit Campagnolle, le Valat du Rieu, sont alimentés par les sources de la Costière, en particulier par la Fontaine de Gênerac, et se jettent dans le Vistre à Aubord.

Ces ruisseaux temporaires ont des pentes plus fortes que la moyenne, de l'ordre de 0,9 à 1 %, aussi creusent-ils leur lit et se transforment-ils parfois en véritables torrents, en période de gros orages.

Le Vistre est équipé de 2 stations de jaugeage installées au pont du CD.13 à l'aval immédiat des cadereaux qui transportent les eaux usées de la ville de Nîmes, et au Cailar, à l'aval du confluent du Rhony. Des informations concernant le débit du Vistre seront présentées dans un chapitre suivant qui concernera l'analyse des données hydrométriques recueillies par le S.R.A.E..

2.2 - GEOLOGIE

2.2.1 - Histoire géologique - Structure

La Garrigue nîmoise présente les termes d'âge Crétacé - du Valanginien au Barrémien - de la série qui sert de substratum à toute la région. Ce subs-

tratum est plissé suivant une direction E-W liée à l'orogénèse pyrénéenne, et très compartimenté par un réseau de failles NE-SW à NW-SE.

La distention qui affecta le socle du Golfe du Lion, disloqua cette série calcaire en compartiments effondrés graduellement, reconnus par les sondages pétroliers effectués en Costière et Vistrenque. Le fractionnement est intense et avait déterminé à l'Oligocène des paléo-reliefs scellés par des brèches.

L'invasion marine miocène, déborde largement sur la Garrigue et laisse dans les compartiments effondrés une épaisseur importante de dépôts qui subiront une forte érosion continentale pontienne.

Le Pliocène ramène la mer qui baignait la région jusqu'au pied des Garrigues. La sédimentation est marneuse avec alternances sableuses. La distention continue qui présida à ces dépôts leur a conféré de très grandes épaisseurs - 700 m reconnus en Vistrenque -.

Le retrait de la mer pliocène a laissé un grand fleuve anastomosé érodant les reliefs pliocènes créés par la tectonique en distention qui différencie déjà Costière et Vistrenque. Sur la surface ainsi dégagée s'épand le glacis des cailloutis rhodaniens.

La poursuite de la distention assure encore l'effondrement de la Vistrenque estimable entre les cailloutis du village de Mus, butte témoin en Garrigue et ceux de la plaine de la Vistrenque. La Costière se relève simultanément à partir de l'axe Vauvert - Générac.

Les accidents tectoniques responsables de ces mouvements verticaux ont joué en flexure, mais ce sont les mêmes failles profondes qui ont rejoué aux diverses époques de distention. Les deux principaux accidents dans le bassin du Vistre sont la faille dite de Nîmes, bordant le sud de la Garrigue, et la faille dite de Vauvert, alignée suivant l'axe Vauvert - Générac.

L'allure rectiligne de la bordure de la Garrigue et les nombreuses brèches affectant les calcaires crétacés, permettaient de penser que le contact entre la Vistrenque et la Garrigue se faisait par faille. La présence de cet accident a été confirmé par les études gravimétriques de la S.N.P.L.M. qui permettent d'évaluer son rejet global à 800 m ; les sondages de Milhaud ont montré que cet accident se décompose en fait en un faisceau de failles parallèles subverticales orientées suivant une direction NE-SW, limitant autant de compartiments "en marches d'escalier".

Deux accidents majeurs - la faille de Nîmes et l'accident nord de la Costière - compartimentent en définitive le bassin du Vistre en trois unités :

- la faille de Nîmes a provoqué l'effondrement en graben du compartiment sud - Vistrenque et Costière - par rapport au compartiment nord - Garrigue - ;

- l'accident nord de la Costière, lié à une flexure d'âge plio-quadernaire a entraîné la formation du horst de la Costière qui domine la dépression de la Vistrenque, l'ensemble de ces deux unités étant constitué par des faciès plio-quadernaires.

2.2.2 - Lithostratigraphie

2.2.2.1 - La Garrigue

Elle est essentiellement constituée de terrains appartenant au Crétacé inférieur - Hauterivien et Barrémien - et accessoirement de placages tertiaires de très faibles extensions dont le rôle hydrogéologique est négligeable.

Le Crétacé inférieur est caractérisé par la prédominance des assises calcaires et une épaisseur relativement importante. Nous ne citerons sommairement que les principaux caractères lithologiques des formations du Crétacé :

- Hauterivien inférieur : calcaires et calcaires marneux ; épaisseur probable : 300 à 400 m ; au forage pétrolier de Nîmes 1, la limite Hauterivien, Valanginien a été observée à 282 m de profondeur.

- Hauterivien supérieur : calcaires durs, gris ou bleus, siliceux ; sans intercalations marneuses importantes ; épaisseur : 100 à 200 m ; les calcaires de l'Hauterivien supérieur contiennent des niveaux à chailles et à calcarénites.

- Barrémien inférieur : ce sous-étage peut être subdivisé en trois formations :

. formation inférieure : calcaires à chailles et marnes. Elle débute par des calcaires contenant souvent des chailles, en bancs de 10 à 20 cm, sur une épaisseur de 10 à 20 m. En légère discordance sur les calcaires hauteriviens, ils passent à des marnes en général de teinte claire, de 100 à 150 m d'épaisseur

. formation moyenne : calcaires barutéliens. Elle est constituée par des calcaires blancs, légèrement crayeux, analogues à certains calcaires urgoniens. Son épaisseur voisine de 300 m dans la partie ouest du bassin du Vistre se réduit beaucoup vers l'est où elle ne dépasse pas 50 m.

formation supérieure : marnes et "barres urgonoïdes". Les calcaires barutéliens sont recouverts en discordance par des marnes à petits bancs calcaires intercalés ; ils comprennent localement une ou deux "barres urgonoïdes" épaisses de 10 à 20 m, continues sur plusieurs kilomètres, de faciès comparables à l'Urgonien sus-jacent. L'ensemble de la formation a plus de 100 m d'épaisseur.

- Barrémien supérieur : calcaires de faciès urgonien. Ce sont des calcaires blancs, cristallins. Leur épaisseur est supérieure à 200 m et excède peut être 300 m.

2.2.2.2 - L'ensemble Costière - Vistrenque

1°/ Substratum anté-pliocène

Les sondages effectués par la S.N.P.L.M., et plus récemment par la Société Perrier, ont montré que le Crétacé inférieur, qui affleure dans la Garrigue, forme le substratum du remplissage tertiaire et quaternaire de l'ensemble Costière - Vistrenque.

Les compartiments plus ou moins effondrés de ce substratum sont comblés par une série gréso-conglomératique d'âge oligocène.

Au-dessus, le Miocène, souvent incomplet (absence d'Helvétien), est d'épaisseur inégale ; la molasse miocène-Burdigalien- s'est déposée sur un relief très érodé constitué tantôt par le Crétacé, tantôt par les termes tertiaires, et a subi une forte érosion continentale pontienne, comme il a été indiqué précédemment.

Le Miocène affleure à l'extrémité ouest de la Vistrenque, au voisinage de Sernhac et à la périphérie de l'étang de Clausonne. Il est représenté par des grès calcaires burdigaliens, désignés, selon l'usage, par le terme de "molasse", surmontés par une alternance de marnes bleues sableuses et de molasse gréseuse verdâtre - Helvétien inférieur - et par des grès jaunâtres, relativement grossiers à ciment calcaire plus ou moins abondant - Helvétien supérieur -.

La molasse miocène constitue le substratum des cailloutis villafranchiens sur une zone d'extention limitée à l'extrémité NE de la Vistrenque. Elle aurait été traversée en particulier sur près de 70 m dans le sondage n° 965-3-267 (1).

(1) Indice de classement BRGM.

2°/ Le remplissage plio-quaternaire

a) Le Pliocène

Il est caractérisé par une large transgression ayant envahi un relief découpé par l'érosion pontienne, suivie d'une régression laissant un fleuve puissant, l'ancien Rhône, charrier des masses énormes de matériaux alluvionnaires.

Le Pliocène marin

Il est caractérisé par deux faciès :

- . le faciès argileux "plaisancien" ;
- . le faciès sableux "astien".

- Le Plaisancien : il est constitué par des argiles gris-bleu en profondeur, jaunes en surface lorsqu'elles sont altérées.

Sa puissance est très variable : absent en bordure de la Garrigue, il atteint 25 m au forage Milhaud 1, 166 m à Milhaud 2, 278 m à Milhaud 3, 408 m à Aubord 1 et 621 m à Générac. L'augmentation de son épaisseur vers le SE est liée à une inégale valeur de la subsidence et à la topographie irrégulière anté-pliocène.

Le passage à l'Astien peut se faire insensiblement par des alternances répétées de niveaux d'argile et de sable, ou être marqué par de petites intercalations gréseuses ou de calcaire cargneulisé.

Le Plaisancien forme le substratum imperméable des formations plio-quaternaires qui le recouvrent.

- l'Astien : il est constitué de sables jaunes ou verdâtres, moyens à fins (médiane 0,15 à 0,25 mm), médiocrement triés, à grains peu usés, qui peuvent contenir jusqu'à 20 % de calcaire (sud de Garons).

Il affleure localement au pied de la Garrigue entre St Gervasy et St Cézaire et il est bien développé de Générac à Vauvert où il présente fréquemment une stratification entrecroisée.

La puissance de l'Astien est très variable ; elle est liée aux vicissitudes de la sédimentation et à l'érosion du Pliocène terminal villafranchien. Absent dans le sondage Garons 1, et dans la partie orientale de la Costière, aux environs de Meynes, l'Astien a une épaisseur voisine de 30 m à Générac et d'une dizaine de mètres en général sur la Costière, lorsqu'il est présent. Son épaisseur varie de 3 à 6 m près de Milhaud.

L'Astien peut se terminer par un niveau d'argile jaune à calcite pulvérulente de 1 à 3 m d'épaisseur.

Le Pliocène continental ou villafranchien

Les cailloutis déposés par l'ancien Rhône après le retrait de la mer pliocène constituent le réservoir aquifère de la Vistrenque dont la composition lithologique sera explicitée dans le chapitre suivant.

b) Formations superficielles - Quaternaire

Le Quaternaire voit se développer un processus pédogénétique important qui provoque la formation de paléosols rouges et d'horizons conglomératiques intercalés dans les cailloutis villafranchiens. Ces formations conditionnent en particulier les caractéristiques hydrogéologiques actuelles du réservoir aquifère de la Vistrenque.

Par ailleurs, les glaciations du Riss et du Wurm favoriseront la formation du glaciaire du piémont de la Garrigue, constitué d'éléments calcaires anguleux et de limons, qui s'étend sur 2 à 3 km de largeur.

Enfin, l'épandage des limons aux abords du Vistre correspond à l'actuelle période post-glaciaire.

Les caractéristiques lithologiques de ces différentes formations seront également explicitées dans le chapitre suivant qui concerne la géométrie du réservoir aquifère de la Vistrenque et sa constitution lithologique.

2.3 - HYDROGEOLOGIE

2.3.1 - La Garrigue

Les calcaires de la Garrigue présentent des niveaux aquifères bien individualisés mais très compartimentés suivant la tectonique décrite précédemment. Les niveaux karstifiés séparés par des épisodes marneux se retrouvent dans :

- le sommet du Valanginien, lorsqu'il est calcaire, les circulations se faisant au contact de l'Hauterivien inférieur ;

- les calcaires de l'Hauterivien supérieur, dits cruasiens, qui donnent naissance à des sources alignées sur le flanc sud des Garrigues, pérennes ou temporaires, mais sans grandes réserves sous leur seuil d'écoulement. Ses sources n'ont un débit élevé qu'en période de crue. La plus importante est la Fontaine de Nîmes dont le réseau noyé a été exploré en particulier par l'Association spéléolo-

gique nîmoise, par pompages et par plongées sur une longueur totale de 1 120 m, répartie suivant deux conduits principaux, orientés respectivement vers l'Ouest et le Nord. Le vallon de Vaqueyroles situé au NW de Nîmes est la principale zone d'alimentation de cette source, dont le débit d'étiage est de l'ordre de 20 à 30 l/s. Autres sources karstiques mais à écoulement temporaire : la Fouze et le Fouzeron, donnent naissance au ruisseau du Canabou, à 1 km au nord du Mas de Belon près de St Gervasy. Les principales pertes et émergences de la zone des Garrigues figurent sur la carte à 1/50 000 de l'annexe n° 1.

- les calcaires du Barrémien inférieur - formation moyenne - dits barutéliens, qui donnent également naissance à une série de sources alignées suivant leur structure E-W. Autre témoin de la fissuration de cette formation : le forage pétrolier Milhaud 1, a traversé, de 55 à 240 m, une série calcaire du Barrémien inférieur dans laquelle le foreur signale des pertes totales de boue de 50 à 80 m, 135 à 175 m, 230 à 239 m

- les calcaires blancs, cristallins du Barrémien supérieur, à faciès urgonien, faisant crête morphologique à la limite du bassin versant, de Poulx à Ledenon. Très karstifiés, ces calcaires sont cependant pour leur plus grande partie, drainés par le Gardon où ils contribuent à l'alimentation des grosses sources pérennes ou temporaires ; ils sont en outre susceptibles de recéler des réserves au voisinage de cette vallée où les conditions structurales permettent l'existence d'une zone noyée permanente au-dessous du niveau d'écoulement du Gardon (1).

De nombreux forages - de 4 à 6" de diamètre, exécutés au marteau "ford de trou", et dont la profondeur varie en général entre 30 et 150 m - sont implantés sur l'ensemble des formations calcaires et marno-calcaires de la Garrigue pour alimenter en eau des mas isolés dont les besoins sont de l'ordre ou inférieurs à 1 m³/h. On ne dispose pas en général d'informations précises sur la productivité de ces forages qui n'ont pas fait l'objet de pompages d'essai et sont équipés de groupes électropompes immergés de faible débit.

(1) Ce réservoir, encore pratiquement inutilisé, fait actuellement l'objet d'une reconnaissance par sondages au voisinage de la résurgence des Frégeires, dans le cadre de l'étude des ressources en eaux souterraines de la région nîmoise, susceptibles de couvrir les besoins futurs en eau de cette agglomération.

Un forage. — n° 965-2-154 — exécuté en septembre 1974 a Courbessac, en Ø 135 mm, au nord de l'aérodrome, aurait traversé de 0 à 90 m des marnes et calcaires marneux non productifs de l'Hauterivien inférieur avant d'atteindre un vide important entre 90 et 100 m de profondeur, qui aurait donné un débit de l'ordre de 20 m³/h à l'air lift, sans indication du rabattement correspondant. Cette zone productrice pourrait correspondre au toit du Valanginien et le débit indiqué ci-dessus ne correspond qu'aux possibilités de l'installation de pompage utilisé et non au débit potentiel de la formation karstifiée traversée par le forage.

Un autre secteur de la Garrigue, favorable à l'exploitation des eaux souterraines, aurait été mis en évidence entre St Césaire et Caveirac, le long du CD.40 ; les débits des forages 964-8-38 et 964-8-40 seraient de 15 à 50 m³/h pour des profondeurs respectives de 40 et 46 m, sans que l'on connaisse encore les rabattements correspondants.

D'une manière générale, les activités agricole et industrielle, très réduites sur le domaine de la Garrigue, n'ont pas provoqué jusqu'à présent de recherches d'eaux souterraines. La population est par ailleurs peu importante, de l'ordre de 1 000 habitants, en dehors d'une partie de la ville de Nîmes. Les communes de Ledenon et de Poulx en particulier sont alimentées par des ouvrages de captage implantés dans la Vistrenque. Les recherches récentes d'eaux souterraines sur le plateau de Poulx n'ont pas donné de résultats positifs par suite de la position perchée du réservoir urgonien à proximité de cette agglomération. Quelques petites sources alimentent le village de Cabrières, le château de Roquecourbe et des mas isolés, tel que le mas de Font-Froide. Mais il est certain que la mise en évidence d'eaux souterraines dans le domaine de la Garrigue est une condition nécessaire pour y favoriser le développement de l'habitat eu égard au coût trop élevé des investissements nécessaires pour transporter l'eau à partir de la Vistrenque ou des sources du Gardon.

2.3.2 - L'ensemble Costière - Vistrenque

Les caractéristiques hydrogéologiques de la Vistrenque et de la partie nord de la Costière qui contribue à son alimentation seront présentées dans le chapitre 4.

Nous ne présentons dans ce paragraphe qu'un ordre de grandeur des principales données connues concernant l'hydrogéologie de la Costière-Vistrenque.

La Vistrenque constitue, entre Garrigue et Costière, une zone déprimée en légère déclivité du NE vers le SW, qui représente l'amont d'un système aquifère se poursuivant vers l'aval jusqu'à la mer Méditerranée.

L'épaisseur des formations détritiques qui occupent cette zone augmente du NE où affleure le mur imperméable du réservoir aquifère (argiles plaisanciennes) vers le SW où elle peut atteindre 25 à 30 m.

Ce réservoir recèle une nappe continue mais localement stratifiée par des passées argileuses ou conglomératiques fortement cimentées.

Les paramètres hydrauliques de l'aquifère peuvent ainsi varier dans d'assez fortes proportions selon les points; on observe ainsi des transmissivités comprises entre 10^{-2} et 10^{-4} m^2/s et des coefficients d'emmagasinement allant de 10^{-4} à 10^{-1}

La profondeur de l'eau par rapport au sol dépasse rarement 5 m, et les fluctuations saisonnières sont comprises en général entre 1 et 3 m; toutefois la nappe ne cesse d'être drainée par le Vistre, en hautes ou basses eaux.

La Costière, en situation topographique élevée par rapport aux régions périphériques, constitue un système aquifère moins épais et moins perméable que la Vistrenque, et ne présente qu'un intérêt réduit au point de vue hydrogéologique. La nappe qu'elle recèle est "perchée" en raison de la position élevée de son mur imperméable - argile plaisancien en général - et son alimentation se fait exclusivement par les pluies.

L'épaisseur de la zone saturée est variable, liée à la morphologie irrégulière du substratum, mais même dans les zones les plus favorables où cette épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres, le débit des ouvrages ne dépasse qu'exceptionnellement $10 m^3/h$.

La nappe de la Costière alimente, tout au long de sa bordure nord, la nappe de la Vistrenque, et d'une manière plus générale, les flexures post-villafranchiennes constituent autant de seuils hydrauliques, les eaux souterraines s'écoulant des compartiments surélevés vers les zones affaissées en suivant la topographie du substratum imperméable.

Les données générales qui précèdent, concernant la Vistrenque et la Costière sont extraites des remarques hydrogéologiques de la notice de la carte géologique à 1/50 000 de la feuille de Nîmes qui recouvre la plus grande partie du bassin du Vistre.

Elles seront précisées tout au long des deux chapitres suivants dans lesquels seront présentées en particulier la géométrie et la constitution lithologique du réservoir aquifère de la Vistrenque et ses caractéristiques hydrodynamiques.

3 - CONSTITUTION LITHOLOGIQUE ET GEOMETRIE DU RESERVOIR AQUIFERE

3.1 - CONSTITUTION LITHOLOGIQUE

3.1.1 - Les cailloutis villafranchiens

L'ancien Rhône a déposé les cailloutis villafranchiens sur un substratum en général d'âge Pliocène, représenté par les faciès plaisanciens et astiens, et localement dans la zone de piémont : de la Garrigue sur des calcaires crétacés ou des molasses et marnes bleues, sableuses, miocènes. L'ensemble de ces formations qui constituent le substratum des cailloutis du réservoir aquifère de la Vistrenque a été décrit dans le chapitre précédent.

Lorsqu'ils ne sont pas altérés, les cailloutis villafranchiens comprennent une forte proportion de galets (environ 75 %), dans une matrice sableuse et calcaire. La stratification, peu nette en général, est de type fluviale (galets inclinés, lentilles de sable). Les galets très arrondis sont formés de quartzites provenant pour l'essentiel des formations triasiques des bassins du Drac et de la Durance (60 à 80 %), de quartz laiteux (10 à 30 %), de calcaire provenant des niveaux durs du Mésozoïque rhodanien (5 à 25 %) et en proportions plus faibles, de granites, gneiss, basalte et grès permien.

La dimension maximale des galets d'origine lointaine (quartzite) est voisine de 40 cm ; 5 % d'entre eux dépassent 10 centimètres et 85 %, ont un diamètre compris entre 1 et 5 cm.

La matrice est formée de sables, limons et argiles.

Les sables ont un mode et une médiane voisins de 0,2 mm. Ils peuvent former des lentilles sans galets. Leur granulométrie étant semblable à celle des sables astiens, il convient d'être prudent pour attribuer un âge aux sables rencontrés sous les cailloutis, si leur épaisseur est faible.

Les argiles présentes en faibles quantités sont en général constituées d'illite.

La matrice contient en moyenne 20 % de calcaire.

3.1.2 - Les formations quaternaires

3.1.2.1 - Origine des différentes formations

Le Quaternaire voit se développer un processus pédogénétique important qui conditionne en partie les caractéristiques hydrogéologiques actuelles du réservoir aquifère de la Vistrenque.

Sur les cailloutis exondés une abondante forêt de feuillus se développe, fournissant un humus qui, joint aux précipitations atmosphériques, lessive le calcaire de la gangue sableuse et même des galets, ne laissant que la trame siliceuse sous forme de chailles.

Les conditions aval de drainage étaient telles que l'évacuation des carbonates et autres éléments solubles n'a pas été possible. Ainsi, au-dessus du cailloutis non altéré, gris, au raccordement des mouvements de percolation per descensum et per ascensum de la nappe, ces éléments se sont cristallisés, formant avec le cailloutis, un poudingue. Le milieu acide créé en surface donna un sol rouge méditerranéen - le gapan - que l'on retrouve en matrice argileuse rouge non calcaire, englobant des chailles, des galets de grès et de roches granitogneissiques altérées.

Avec la glaciation du Riss, la forêt est remplacée par la steppe et l'érosion surtout marquée par l'ablation éolienne fournit le loess au dépens du front glaciaire ou peut être pour une part non négligeable de l'Astien tout proche. Les calcaires gélifs des Garrigues alimentèrent le piémont, mêlant les éclats au loess.

Pendant l'inter-glaciation Riss-Wurm, la forêt put reprendre et entamer la décarbonatation du loess, suivie de la kaolinisation en milieu acide et de la rubéfaction, aboutissant à un sol rouge méditerranéen de type particulier : le lehm. Au niveau d'équilibre entre la zone non saturée et la nappe, se forma un conglomérat à ciment calcaire - le taparas - provenant de la migration du calcaire contenu dans les limons loessiques.

Suivit la glaciation wurmienne, moins rigoureuse mais marquée par les mêmes phénomènes que la précédente, soit dépôt de loess et gélivation. Les mouvements de solifluxion qui avaient commencé au Riss, ont du se poursuivre et faire avancer le glacis de piémont de la Garrigue vers le Sud.

L'actuelle période post-glaciaire vit la réapparition de la forêt progressivement entamée par l'homme et l'épandage de limons aux abords du Vistre.

3.1.2.2. Description des formations quaternaires

a/ Modification de la constitution lithologique des cailloutis villafranchiens.

La constitution lithologique des cailloutis villafranchiens a subi d'importantes modifications à la suite en particulier des processus d'altération pédologique décrits ci-dessus.

Le faciès caillouteux comprend en particulier :

- des niveaux de galets plus ou moins profondément rubéfiés et de graviers enrobés dans une matrice sablo-limoneuse de couleur rouge qui comprend en moyenne 25 % d'argile. L'épaisseur de ces "paléo-sols" rouges" ou "gapan" est importante mais variable, 5 à 6 m entre Bouillargues et Rodilhan, plus de 7 m à Garons et Caissargues. Ils se présentent soit en surface, soit sous une couverture de limons loessiques ;

- des niveaux consolidés par un ciment calcaire. Le "taparas" en particulier est un poudingue calcaire que l'on rencontre vers le sommet du cailloutis quand celui-ci a été recouvert de loess ;

- des cailloutis libres en surface, le "gress" ;

- enfin, des niveaux de cailloutis et de sables correspondant à la formation originelle qui représentent les matériaux aquifères.

Les différents horizons précédents ne représentent pas autant d'assises continues bien individualisées et régulièrement superposées : ils sont au contraire très imbriqués ; les formations lenticulaires et les variations latérales y sont fréquentes. Cette structure permet cependant, au sein d'une série hétérogène, la formation d'une nappe-aquifère généralisée mais soumise à des zones de circulations préférentielles.

b/ Le complexe des formations du piémont de la Garrigue.

Constitué d'éléments calcaires anguleux et de limons en lits alternés ou imbriqués, ces formations s'étendent sur 2 à 3 km de largeur, au pied de la Garrigue où l'on peut suivre un glaciais de piémont incliné suivant une pente de 3° environ, en direction du Vistre. Ces formations atteignent des épaisseurs importantes - de l'ordre de 20 m - ; latéralement leur lithologie varie rapidement entre deux faciès extrêmes caractérisés, l'un par une prédominance d'éléments calcaires, l'autre exclusivement par des limons.

Les fragments calcaires proviennent des formations affleurant dans la Garrigue où les calcaires marneux de l'Hauterivien sont particulièrement gélifs ; ils sont relativement petits, en général inférieurs à 5 cm.

Localement ce cailloutis peut être consolidé par un ciment calcaire secondaire ; il prend alors le faciès d'une brèche, appelée "sistre". Ce faciès a une origine comparable à celle du "taparas" des cailloutis villafranchiens (migration per descensum du calcaire contenu dans les limons).

Le complexe des formations de piémont de la Garrigue qui associe des fragments calcaires aux limons d'origine loessique, repose sur des cailloutis villafranchiens et peut en particulier maintenir captif le réservoir aquifère de la Vistrenque ou éventuellement contribuer à l'alimenter, suivant sa constitution lithologique.

Entre les affleurements de calcaires et les formations précédentes, se situe une zone de faible extension où les éboulis de pente, descendus de la Garrigue peuvent être importants. Ils sont formés de blocs anguleux de dimensions variables, supérieures cependant à celles des fragments calcaires du cailloutis soliflué.

c/ Les limons loessiques et le remplissage limoneux de la Vistrenque

- Limons loessiques :

La moitié du domaine des cailloutis est recouverte par des limons loessiques. Les zones où leur épaisseur est supérieure à 1,5 m figurent sur la carte à 1/50 000 de l'annexe n° 1 et sont confondues avec les zones de remplissage et des dépressions de la Costière.

60 à 70 % des particules sont comprises entre 2 et 50 microns. La fraction sableuse (10 à 20 % des grains supérieurs à 100 microns) est quantitativement égale à la fraction argileuse (inférieure à 2 microns).

Ces limons correspondent aux loess affectés par les pédogenèses du Quaternaire récent (décalcification) et sont comparables aux limons du complexe des formations du piémont de la Garrigue, le matériel éolien étant vraisemblablement le même.

- Remplissage limoneux de la Vistrenque :

La granulométrie des limons gris, très calcaires (50 % en moyenne), situés en bordure du Vistre, est comparable à celle des limons loessiques définis ci-dessus.

La fraction argileuse est cependant plus importante (25 % au lieu de 15 %).

Le matériel de ces limons est vraisemblablement d'origine colluviale et accessoirement éolienne.

Lorsqu'elles ont une épaisseur suffisante, les formations limoneuses définies ci-dessus peuvent maintenir captif l'aquifère sous-jacent et jouer ainsi un rôle hydrogéologique identique aux limons du complexe des formations du piémont de la Garrigue qu'elles relaient.

3.2 - GEOMETRIE DU RESERVOIR AQUIFERE

Les dimensions du réservoir aquifère ont été déterminées à partir de :

- l'analyse des documents archivés au BRGM au titre du Code minier ;
- des résultats de la prospection par sondages électriques de la Costière Vistrenque ;
- des coupes des sondages de reconnaissance effectués par l'entreprise Sud-Est Forages dans le cadre de cette étude hydrogéologique de la Costière Vistrenque.

Les coupes de quelques puits et sondages ayant atteint le substratum imperméable, archivées au BRGM, figurent sur l'annexe n° 3. Leur emplacement est indiqué sur la carte à 1/50 000 de l'annexe n° 2. Les informations qu'ils apportent concernant en particulier la nature et l'épaisseur des terrains traversés, sont de qualité inégale et insuffisante pour obtenir une image acceptable de la géométrie du réservoir.

3.2.1 - Résultats de la prospection électrique

Pour atteindre cet objectif, 9 profils de sondages électriques, espacés de 4 km environ et orientés suivant une direction NW-SE, ont été effectués sur l'ensemble Costière - Vistrenque. Les emplacements de ces sondages numérotés de 1 à 100, figurent sur la carte à 1/50 000 de l'annexe n° 2.

Sur un même profil, la distance séparant deux sondages électriques varie en général entre 500 et 1 000 m. La longueur de la ligne séparant les deux électrodes A et B, par lesquelles le courant est injecté dans le sol, est comprise entre 200 et 400 m.

Les diagrammes des sondages électriques dont quelques exemples sont présentés sur les figures 1 à 3, peuvent être classés en un certain nombre de "familles" qui correspondent aux différenciations mises en évidence dans la constitution lithologique et la structure du réservoir aquifère et de son substratum :

- "Famille" n° 1.a

Les diagrammes de la figure 1.a mettent en évidence une succession de 3 terrains au point de vue électrique :

. Un conducteur superficiel dont la résistivité " ρ_1 " varie entre 20 et 30 ohm.m et dont l'épaisseur " e_1 " est comprise en général entre 1 et 7 m, la valeur moyenne étant de l'ordre de 3 à 4 m. Il correspond à la couverture limoneuse qui maintient le plus souvent captif, l'aquifère sous-jacent.

. Un résistant intermédiaire dont l'épaisseur " e_2 " varie en général entre 10 et 25 m, la valeur moyenne étant de l'ordre de 15 m, et dont la résistivité " ρ_2 " est comprise entre 250 et 300 ohm.m. Cet horizon correspond aux cailloutis villafranchiens pouvant contenir des niveaux plus ou moins consolidés.

. Un conducteur profond correspondant au substratum pliocène - Astien, Plaisancien - dont la résistivité " ρ_3 " varie entre 20 à 35 ohm.m, selon la nature plus ou moins argileuse ou sableuse de ce substratum.

- "Famille" n° 1-b

Les diagrammes de la figure 1.b montrent également une succession de 3 terrains dont les différences avec la famille précédente sont les suivantes : la résistivité du conducteur superficiel " ρ_1 " est comprise entre 40 et 65 ohm.m et son épaisseur " e_1 " est de l'ordre de 1 à 2 m. Ce premier terrain correspond à des cailloutis villafranchiens ayant subi une altération pédologique ou à des limons loessiques moins argileux que les limons gris situés en bordure du Vistre. L'épaisseur de cet horizon est insuffisante en général pour maintenir captif l'aquifère sous-jacent.

Les sondages électriques de cette seconde famille sont situés :

.. entre Bouillargues et Meynes, en bordure sud de la zone où la nappe est captive ; dans ce secteur, l'épaisseur " e_2 " des cailloutis aquifères correspondant au second terrain est comprise en général entre 6 et 10 m.

.. à l'extrémité aval de la dépression de la Vistrenque, entre Vauvert et Codognan, dans la zone où la nappe est libre ; l'épaisseur des cailloutis aquifères

DIAGRAMMES DES SONDAGES ELECTRIQUES

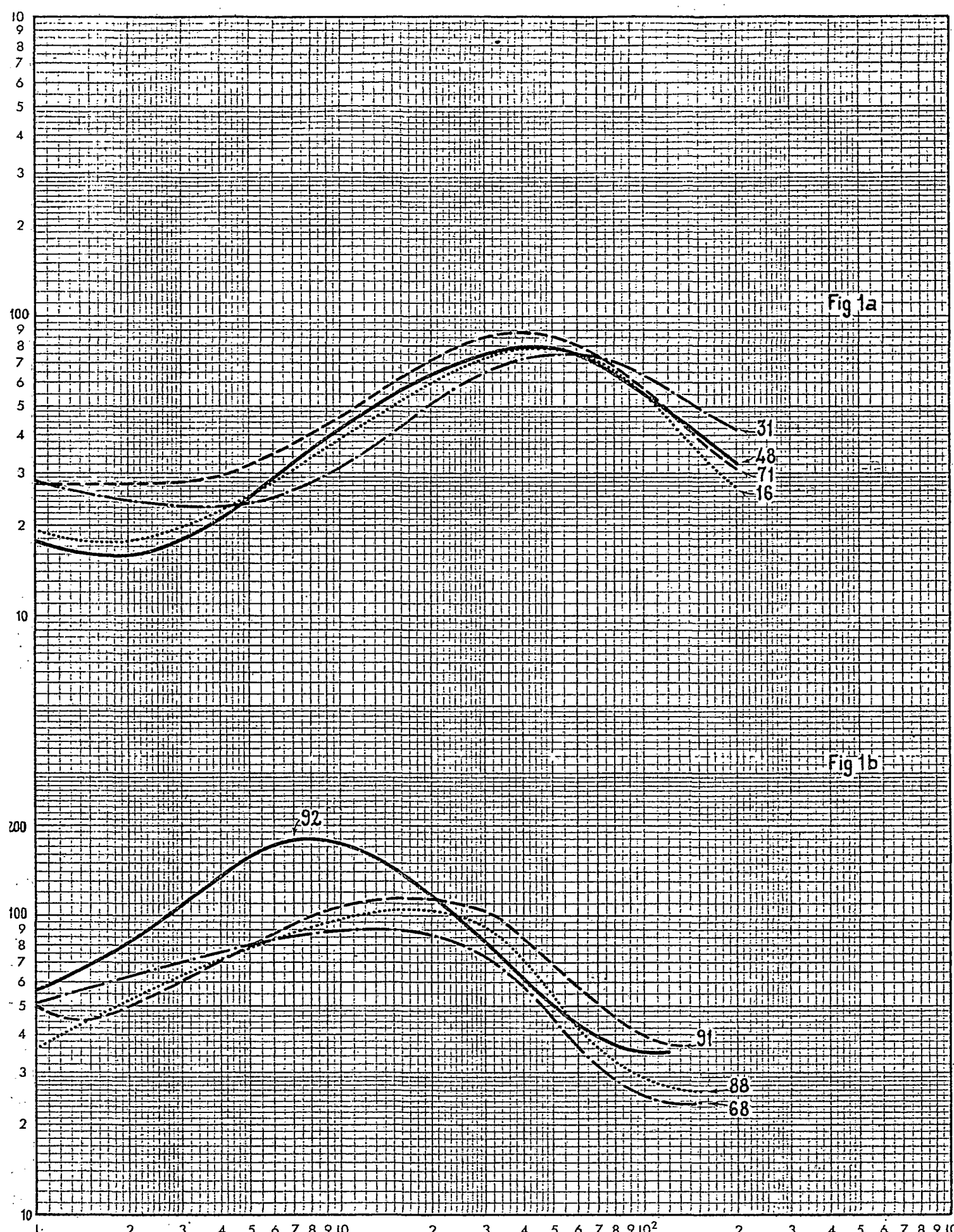


Fig 1a

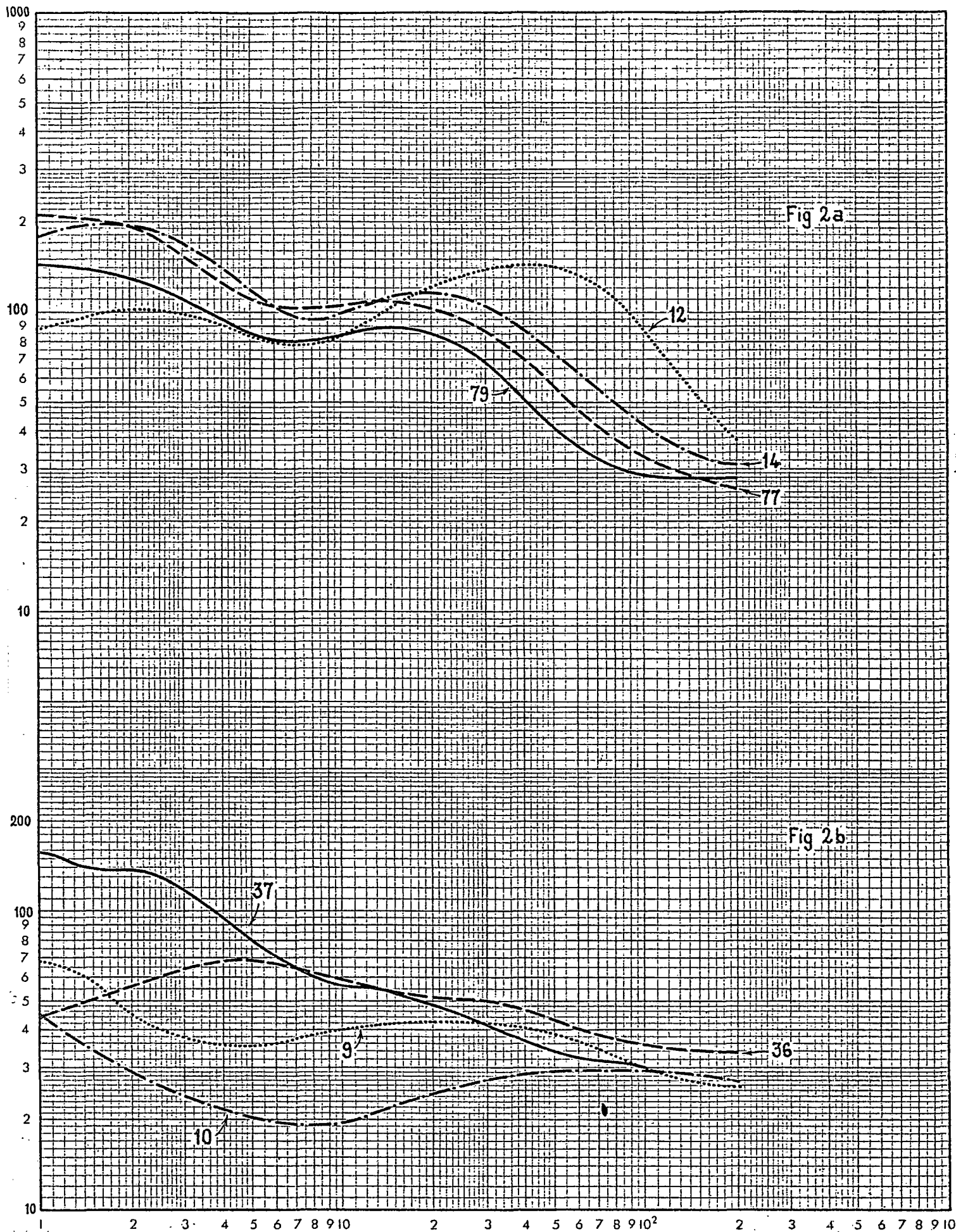
Fig 1b

N° 269

75 SGN 220 LRO

$\frac{AB}{2}$ en mètre

DIAGRAMMES DES SONDAGES ELECTRIQUES



N° 269

75 SGN 220 LRO

$\frac{AB}{2}$ en mètre

"e2" est comprise entre 15 et 20 m.

- "Famille" n° 2.a

Les diagrammes de la figure 2.a mettent en évidence une succession de 4 terrains :

. un résultant superficiel { $\rho'1$: 150 à 500 ohm.m
 { $e'1$: 1,5 à 2 m

Il correspond à des sols caillouteux : le "gress"

. un conducteur intermédiaire { $\rho''1$: 50 à 100 ohm.m
 { $e''1$: 3 à 7 m

Il correspond à des cailloutis rubéfiés enrobés dans une matrice contenant 25 % d'argile rouge : le "gapan", défini précédemment.

. les 3° et 4° terrains. — résistants intermédiaires " $\rho 2$ " et conducteurs profonds " $\rho 3$ " — correspondent respectivement aux cailloutis villafranchiens et au substratum pliocène mis en évidence sur les diagrammes de la figure 1.

La puissance des cailloutis aquifères "e2" est plus faible, comprise entre 4 et 10 m à la suite de l'altération pédologique de leur partie supérieure sur 3 à 7 m d'épaisseur.

Les sondages électriques appartenant à cette famille sont situés en général entre les flexures de Vauvert et d'Aubord, soit encore dans la zone située entre 2 limites approximativement parallèles passant par Aubord et Caissargues au Nord, et par Vauvert et Bouillargues au Sud.

- "Famille" n° 2.b

Entre la flexure de Vauvert, qui s'étend de cette agglomération à Bouillargues, et les affleurements de Pliocène marin au Sud. — Astien et Plaisancien — l'horizon de résistivité " $\rho 2$ " correspondant aux cailloutis villafranchiens aquifères est absent.

On observe une succession de 2 ou 3 terrains sur les diagrammes de sondages électriques de la figure 2.b :

. éventuellement, un résistants superficiel correspondant au sol caillouteux superficiel — "gress" — ,

. un conducteur intermédiaire correspondant aux faciès argileux des cailloutis villafranchiens altérés — "gapan" — ,

Les caractéristiques de ces 2 horizons — épaisseur et résistivité — sont identiques à celles des terrains de la zone située au Nord, entre les flexures de Vauvert et d'Aubord.

. un conducteur profond $\rho = 20$ à 35 ohm.m — représentant le substratum pliocène.

- "Famille" n° 3

En bordure de la Garrigue, c'est-à-dire au voisinage de la faille de Nîmes, les diagrammes des sondages électriques — cf. figure n° 3 — présentent des allures quelconques.

En effet, le complexe des formations du piémont de la Garrigue varie rapidement entre deux faciès extrêmes caractérisés l'un par une prédominance d'éléments calcaires dont la résistivité peut être de l'ordre de 100 ohm.m, l'autre exclusivement par des limons dont la résistivité est de l'ordre de 20 à 30 ohm.m.

Ces formations de piémont recouvrent ou non une épaisseur variable de cailloutis villafranchiens.

Enfin, le substratum des cailloutis ou des formations de piémont peut être :

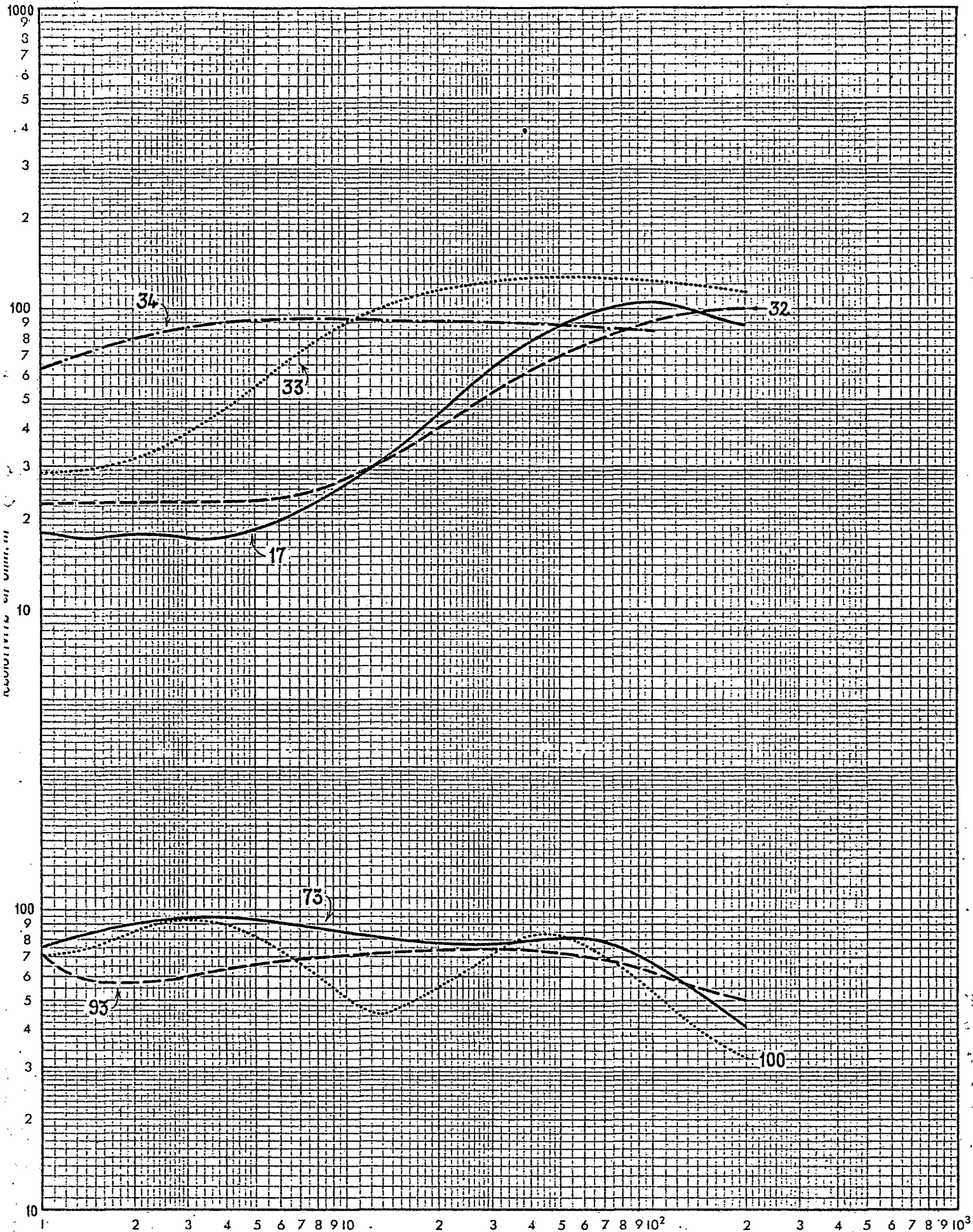
- pliocène : $\rho = 20$ à 35 ohm.m
- miocène : $\rho = 50$ ohm.m
- crétacé : ρ de l'ordre de 100 ohm.m

On conçoit donc que l'interprétation des sondages électriques réalisés en bordure de la Garrigue soit aléatoire, au moins pour identifier l'épaisseur des cailloutis villafranchiens.

Par contre, si la longueur de ligne AB est suffisante, ils permettent de déceler le passage de la faille de Nîmes par suite du contraste de résistivité entre les terrains calcaires (SE.17) et le remplissage miocène (SE.93) ou pliocène (SE.100).

L'épaisseur de la couverture limoneuse des cailloutis peut être supérieure à 10 m (SE.100) et maintenir captif l'aquifère sous-jacent dont le niveau piézométrique moyen est situé à 3 ou 4 m de profondeur, à l'emplacement de ce sondage électrique.

DIAGRAMMES DES SONDAGES ELECTRIQUES



N° 269

75 SGN 220 LRO

$\frac{AB}{2}$ en metre

TABLEAU DES RESULTATS DE LA PROSPECTION ELECTRIQUE EN COSTIERE - VISTRENQUE

Numéro d'ordre du terrain	Famille	1.a	1.b	2.a	2.b	3
	Localisation	Zone captive de la nappe en Vistrenque, au sud de la faille de Nîmes	Zone libre de la nappe en Vistrenque, extrémité amont et aval	De Vauvert à Bouil- largues, entre les flexures de Vauvert et d'Aubord	De Vauvert à Bouil- largues, entre la flexure de Vauvert et les affleure- ments pliocènes	Piémont de la Garrigue
I ou I'	Résistivité ρ^1 ou ρ'^1	20 à 30 ohm.m	40 à 65 ohm.m	150 à 500 ohm.m	150 à 500 ohm.m	20 à 100 ohm.m
	Epaisseur e^1 ou e'^1	1 à 7 m	1 à 2 m	1,5 à 2 m	0 à 2 m	variable, peut at- teindre 20 m.
	Nature	limons	galets et limons loessiques	"gress"	"gress"	limons ou cailloutis calcaires
II''	Résistivité ρ''^1	-	-	50 à 100 ohm.m	50 à 100 ohm.m	-
	Epaisseur e''^1	-	-	3 à 7 m	3 à 7 m	-
	Nature	-	-	"gapan"	"gapan"	-
II	Résistivité ρ^2	250 à 300 ohm.m	250 à 300 ohm.m	250 à 300 ohm.m	-	Présence ou non de cailloutis villafranchiens
	Epaisseur e^2	10 à 25 m	6 à 10m extr. amont 15 à 20 m extr. aval	4 à 10 m	-	
	Nature	cailloutis villa- franchiens aquifères	cailloutis villa- franchiens aquif.	cailloutis villa- franchiens aquif.	-	
III	Résistivité ρ^3	20 à 35 ohm.m	20 à 35 ohm.m	20 à 35 ohm.m	20 à 35 ohm.m	20 à 35: Pliocène marin
	Nature	substratum Pliocène marin	substratum Pliocène marin	substratum Pliocène marin	substratum Pliocène marin	50 : Miocène 100 : Crétacé

En définitive la prospection électrique a contribué à évaluer les dimensions du réservoir aquifère et la nature de son recouvrement sur l'ensemble Costière - Vistrenque, à l'exception de la zone de piémont, dans le compartiment nord de la faille de Nîmes où la détermination de l'épaisseur des cailloutis aquifères doit se faire par sondages mécaniques.

On résume dans le tableau ci-contre les principales informations apportées par les sondages électriques.

Les valeurs des paramètres figurant dans ce tableau pourront, en particulier, être utilisées lors de la recherche par sondages électriques de sites d'ouvrages de captage en Costière - Vistrenque.

3.2.2 - Résultats des sondages mécaniques

15 sondages de reconnaissance ont été effectués en décembre 1974 et janvier 1975 aux emplacements indiqués sur la carte à 1/50 000 de l'annexe n° 2.

Ces sondages ont permis de :

- préciser la géométrie et la constitution lithologique du réservoir aquifère ; un certain nombre d'entre eux a servi d'étalonnage aux sondages électriques. ;
- mesurer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (cf. chapitre 4).

Les principaux renseignements concernant ces sondages et en particulier leur coupe géologique sont présentés sur l'annexe n° 4.

Ils ont atteint et traversé le substratum sur 0,5 m d'épaisseur en général. Leur profondeur varie entre 6,20 m en Costière (n° 965-3-225) et 30 m en bordure du Vistre (n° 964-8-39).

Au total 216,50 m ont été forés en diamètre 160 mm et équipés de tubes en PVC de 118/125 mm crépinés sur quelques mètres de hauteur à leur base.

Ces sondages ont en général, été implantés dans des secteurs où il n'y avait pas de forage permettant d'effectuer des pompages d'essai dans des conditions acceptables ou au contraire, à côté d'ouvrages de captage qui ont été utilisés comme piézomètres, pour évaluer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère et en particulier, le coefficient d'emmagasinement.

3.2.3 - Présentation des résultats concernant la géométrie du réservoir aquifère

L'examen de la documentation et l'interprétation des résultats de la prospection électrique et des sondages de reconnaissance ont permis d'établir :

- une carte des courbes de niveau du substratum des cailloutis villafranchiens, présentée sur l'annexe n° 1 ;
- une carte des courbes de niveau du toit de ces mêmes cailloutis, présentée sur l'annexe n° 2.

Par ailleurs, la nature du substratum pliocène, miocène ou crétacé, atteint par le forage ou le sondage électrique est indiquée par un figuré sur la carte hydrogéologique à 1/50 000 de l'annexe n° 1.

Le toit du substratum est situé entre la cote 60 NGF à l'extrémité nord-est du couloir de la Vistrenque, et la cote - 10 NGF à son extrémité aval.

Un sillon relativement étroit se dessine au toit du substratum, entre la Garrigue et le Vistre-de Bezouce à Nîmes et entre la faille de Nîmes et la flexure d'Aubord-de Nîmes à l'extrémité aval de la Vistrenque.

La flexure de Vauvert entre cette agglomération et Bouillargues sépare :

- un compartiment élevé - la Costière - où le toit du substratum pliocène est situé approximativement entre les cotes 30 et 80 NGF ;

- un compartiment effondré - la Vistrenque - où la cote du toit du substratum varie entre 30 et - 10 NGF.

Au nord-est de Bouillargues, soit à l'extrémité de la flexure de Vauvert le substratum de la Costière se raccorde sans rupture de pente à celui de la Vistrenque.

L'épaisseur des cailloutis aquifères - à l'étiage 1973 - peut être calculée sur la carte hydrogéologique à 1/50 000 de l'annexe n° 1, par différence entre les cotes des courbes isohypses et des courbes de niveau du substratum.

Cette épaisseur ne varie pas dans le temps dans la zone où la nappe est captive, soit dans la plus grande partie du couloir de la Vistrenque.

Elle augmente en général de l'amont de la Vistrenque, où elle est comprise le plus souvent entre 6 et 10 m, vers l'aval, où elle atteint une vingtaine de mètres en moyenne au nord de Vauvert. Sa valeur maximale est voisine de 27 m.

Suivant une direction perpendiculaire au Vistre, l'épaisseur des cailloutis aquifères diminue entre la flexure d'Aubord et la flexure de Vauvert où son épaisseur varie le plus souvent entre 4 et 10 m.

Elle est pratiquement nulle au sud de la flexure de Vauvert, entre cette agglomération et Bouillargues où les cailloutis sont argileux.

On peut estimer en première approximation à 2 milliards de m³ le volume des cailloutis aquifères de la Vistrenque, au cours de l'étiage 1973, les variations dans le temps de ce volume étant de l'ordre de 10 % en période de hautes eaux.

Si l'on estime à 5 % la porosité efficace des cailloutis, le volume d'eau de la zone saturée serait de l'ordre de 100 millions de mètres cube.

Ce volume d'eau "statique" ne correspond pas au volume d'eau exploitable pendant une période donnée quelconque. Celui-ci est effectivement fonction de la géométrie de l'aquifère, mais il est également question de la transmissivité qui commande la fonction conductrice de l'aquifère et des conditions aux limites (limite étanche ou au contraire à potentiel constant : Vistre, faille de Nîmes éventuellement).

4 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DU RESERVOIR AQUIFERE

Dans ce chapitre, nous présenterons successivement les données relatives :

- à la piézométrie de la nappe des cailloutis villafranchiens ;
- aux paramètres de l'aquifère - transmissivité et coefficient d'emmagasinement - ;
- aux conditions aux limites du réservoir, notamment les liaisons avec le Vistre et la Garrigue calcaire.

4.1 - PIEZOMETRIE

4.1.1 - Carte piézométrique en période d'étiage

La carte piézométrique à 1/50 000, présentée sur l'annexe n° 1, a été établie en septembre 1973, qui correspond à la fin de l'étiage des eaux souterraines de l'année hydrologique 1972/1973.

Le limnigramme du piézomètre n° 965-3-216 montre que l'amplitude des variations naturelles de la surface piézométrique a été de l'ordre de 0,10 m au cours de la période des mesures qui a duré 4 semaines.

L'espacement entre les différents puits et forages est en général de l'ordre de 0,5 à 1 km. Certains secteurs étant dépourvus de points d'eau, notamment sur la Costière, de Vauvert à Garons, il n'a pas toujours été possible de respecter cet espacement. Dans les zones de piémont de la Garrigue, la densité des forages est également insuffisante ou bien l'équipement des points d'eau de faible diamètre, ne permet pas de mesurer la profondeur du niveau piézométrique.

Les cotes des niveaux piézométriques ont été déterminées avec une précision de l'ordre de 0,50 m, en général d'après les plans directeurs à 1/2 000 ou à 1/5 000, et dans les secteurs où ils n'existent pas, d'après la carte topographique à 1/20 000.

D'une manière générale, les conditions d'établissement de la carte piézométrique à l'échelle 1/50 000 sont suffisantes, pour mettre en évidence les directions et gradients de l'écoulement des eaux souterraines avec une précision acceptable.

La carte des courbes hydro-isohypses fait apparaître clairement :

- l'écoulement des eaux de la Costière vers la Vistrenque, au sud de la ligne de partage des eaux souterraines qui correspond aux limites du bassin versant du Vistre ;

- une alimentation par la Garrigue ;

- le drainage de la Vistrenque par le Vistre à l'aval de Marguerittes.

L'analyse plus détaillée de la carte piézométrique conduit aux observations suivantes :

Sur le versant nord de la Costière, les eaux du plateau de Garons s'écoulent dans toutes les directions depuis la cote 90 jusqu'à la cote 40. Suivant une direction NW, le gradient a successivement les valeurs suivantes :

10 ‰ entre les cotes 90 et 75

26 à 35 ‰ entre les cotes 75 et 40

10 à 15 ‰ entre les cotes 20 à 25 et 40

4 ‰ entre les cotes 20 à 25 et le Vistre.

Les ruptures de pente correspondent aux passages des flexures de Vauvert et d'Aubord tracées sur la carte hydrogéologique de l'annexe 1.

Les eaux souterraines arrivent au pied de la Costière sur un large front parallèle au Vistre et contribuent à l'alimentation de la Vistrenque. Eu égard à sa position élevée, le plateau de Garons ne reçoit que l'eau infiltrée sur son impluvium.

Au sud de Manduel, on observe une zone de faible gradient 2 ‰, immédiatement au nord de la limite du bassin versant du Vistre. Cette zone correspond à une plage de transmissivité anormalement élevée sur la Costière.

La courbe hydro-isohypse 65 est fermée à l'extrémité amont de la Vistrenque, dans la zone de l'étang de Pâzac qui est sec en été. Le substratum miocène peut jouer, éventuellement, un rôle dans l'alimentation de celui-ci, certains forages implantés dans ce secteur étant artésiens.

Dans le bassin du Haut Vistre, les courbes hydro-isohypses s'orientent suivant une direction approximativement Nord-Sud jusqu'à Marguerittes. A partir de cette commune, sur la rive droite du Vistre, elles ont tendance à s'orienter dans leur ensemble, suivant une direction Est-Ouest, puis NE-SW parallèlement à la Garrigue, montrant ainsi un apport d'eau relativement important en provenance.

des calcaires crétacés. Les pertes qui affectent les ruisseaux descendant de la Garrigue, quand ils arrivent au contact des formations caillouteuses de piémont, permettent une alimentation rapide de la nappe superficielle à partir des eaux ruisselées des Garrigues.

La faille de Nîmes peut jouer également un rôle hydrogéologique important dans l'alimentation de la bordure nord de la Vistrenque.

Suivant la direction NE-SW de l'écoulement des eaux souterraines de la Vistrenque, le gradient a successivement les valeurs suivantes :

3,5 ‰ de Bezouze à Rodilhan entre les cotes 65 et 30 ;

2 ‰ de Rodilhan à Caissargues entre les cotes 30 et 25 ;

1,25 à 1 ‰ de Caissargues au mas d'Arnaud entre les cotes 25 et 10 ;

2 ‰ du mas d'Arnaud au Cailar, à l'extrémité aval de la Vistrenque.

Suivant cet axe, la transmissivité est de l'ordre en général de 5×10^{-3} m/s pour une épaisseur de cailloutis de l'ordre de 15 à 20 m.

Dans ces conditions, la vitesse réelle effective de circulation des eaux souterraines serait de l'ordre de 100 à 200 m par an, pour une porosité efficace des cailloutis villafranchiens de 10 %.

4.1.2 - Variations saisonnières de la surface piézométrique

4 limnigraphes ont été installés en Vistrenque, aux emplacements indiqués sur la carte de l'annexe 1.

Les limnigrammes (cf. annexe 5) mettent en évidence les variations des niveaux piézométriques de l'aquifère pendant une période de 15 à 20 mois, qui comprend les étiages 1973 et 1974 encadrant la période des hautes eaux 1974.

Les écarts entre les niveaux piézométriques enregistrés respectivement en période de hautes eaux — janvier à mars 1974 — et à l'étiage qui a suivi — janvier à février 1975 — figurent dans le tableau ci-après, où sont également présentées les conditions hydrodynamiques du site des différents piézomètres.

L'amplitude des variations piézométriques est normalement plus élevée dans les zones de piémont de la Garrigue et de la Costière où la pente de la nappe est également élevée.

TABLEAU DES VARIATIONS PIEZOMETRIQUES ANNUELLES (1974)

Indice de classement	Situation	Cote NGF du sommet du tubage en m.	Profondeur du niveau de l'eau/sommet du tubage en m.	Date	Ecart entre les périodes de hautes eaux et l'étiage 1974 en m.	Type de nappe	Transmissivité en $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	Gradient
965-3-216	Extrémité amont de l'aquifère. Zone de Pazac à substratum miocène.	68,15	0,46	05/03/1974	2,16	libre	5 à 10	1°/‰
			2,64	15/01/1975				
965-2-151	Zone de piémont de la Garigue - Marguerittes -	49,65	0,68	05/03/1974	4,42	captive	6	10°/‰
			5,10	12/02/1975				
965-5-95	Zone de piémont de la Costière, à 2 km au SW de Caissargues	33,20	5,82	08/03/1974	3,86	libre	10	2,5°/‰
			9,68	15/01/1975				
991-4-284	Extrémité aval de l'aquifère, près de l'usine Perrier	12,20	0,48	04/03/1974	3,15	libre	5	1,5°/‰
			3,63	13/01/1975				

15 séries de mesures mensuelles de la profondeur du niveau piézométrique ont été effectuées d'octobre 1973 à décembre 1974 sur 42 forages pour suivre l'évolution de la position de l'ensemble de la surface piézométrique du réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque. L'ensemble des résultats de ces mesures est présenté sur le tableau de l'annexe 6 sur lequel figurent également les écarts entre les niveaux piézométriques mesurés en période de "hautes eaux" et à l'étiage 1973 d'une part (e1), et à l'étiage 1974 d'autre part (e2).

Pour 42 piézomètres répartis d'une manière approximativement uniforme — un piézomètre pour 4 km² environ — les valeurs médianes des écarts e1 et e2 s'élèvent respectivement à 1,90 m et 1,80 m.

La distribution des valeurs e1 et e2 est la suivante :

	0 à 1 m	1 à 2 m	2 à 3 m	3 à 4 m	4 à 5 m
e 1	3	20	12	5	2
e 2	4	21	12	4	1

Les écarts supérieurs à 3 m correspondent à des piézomètres situés dans les zones de piémont de la Garrigue :

965-2-22 (3,06 m)

965-3-213 (4,44 m)

965-5-201 (4,10 m)

et au pied du talus de la Costière :

964-8-16 (3,91 m)

965-5-24 (3,65 m)

991-4-161 (3,06 m)

Les écarts inférieurs à 1 m pourraient correspondre à des piézomètres plus ou moins colmatés (965-2-37 : 0,42 m et 965-5-103 : 0,45 m).

Pour 80 % des points d'eau, l'amplitude des variations piézométriques est comprise entre 1 et 3 m, et les écarts entre les étiages 1973 et 1974, sont inférieurs à 0,50 m.

Les dates des mesures mensuelles figurent sur l'annexe 5. Elles évitent

les périodes correspondant aux valeurs maximales enregistrées par les limnigraphes. Les valeurs minimales des écarts entre ces maxima et les niveaux piézométriques enregistrés aux dates des mesures mensuelles sont respectivement de :

0,52 m - 965-3-216

0,20 m - 965-2-151

0,80 m - 965-5-95

0,56 m - 991-4-284

Dans ces conditions, il convient de majorer de 0,50 m, \pm 0,30 m, les valeurs maximales des écarts piézométriques dont il est question ci-dessus et de majorer également les valeurs médianes de e_1 et e_2 qui atteignent ainsi respectivement 2,40 m et 2,30 m.

On pourra retenir en définitive que dans 80 % des points d'eau, l'amplitude des variations piézométriques est comprise entre 1,50 et 3,50 \pm 0,30 m ; elle dépasse cette valeur, pour atteindre 4,50 m \pm 0,30 m, dans les zones de piémont de la Garrigue et de la Costière ; elle est exceptionnellement inférieure à 1,50 m dans des piézomètres qui peuvent être colmatés.

4.2 - PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE - TRANSMISSIVITE ET COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT

4.2.1 - Généralités

Le milieu aquifère cumule les fonctions de conducteur et de réservoir d'eau. Cette double propriété s'exprime par les deux paramètres élémentaires suivants :

- la transmissivité * (T) qui commande la fonction conductrice ;
- l'emmagasinement ** (S) qui commande la fonction de stockage.

Il s'ensuit que le milieu aquifère est le champ de deux phénomènes hydrodynamiques bien distincts :

* Produit de la perméabilité (K) x épaisseur de la couche aquifère : $T = K.e$

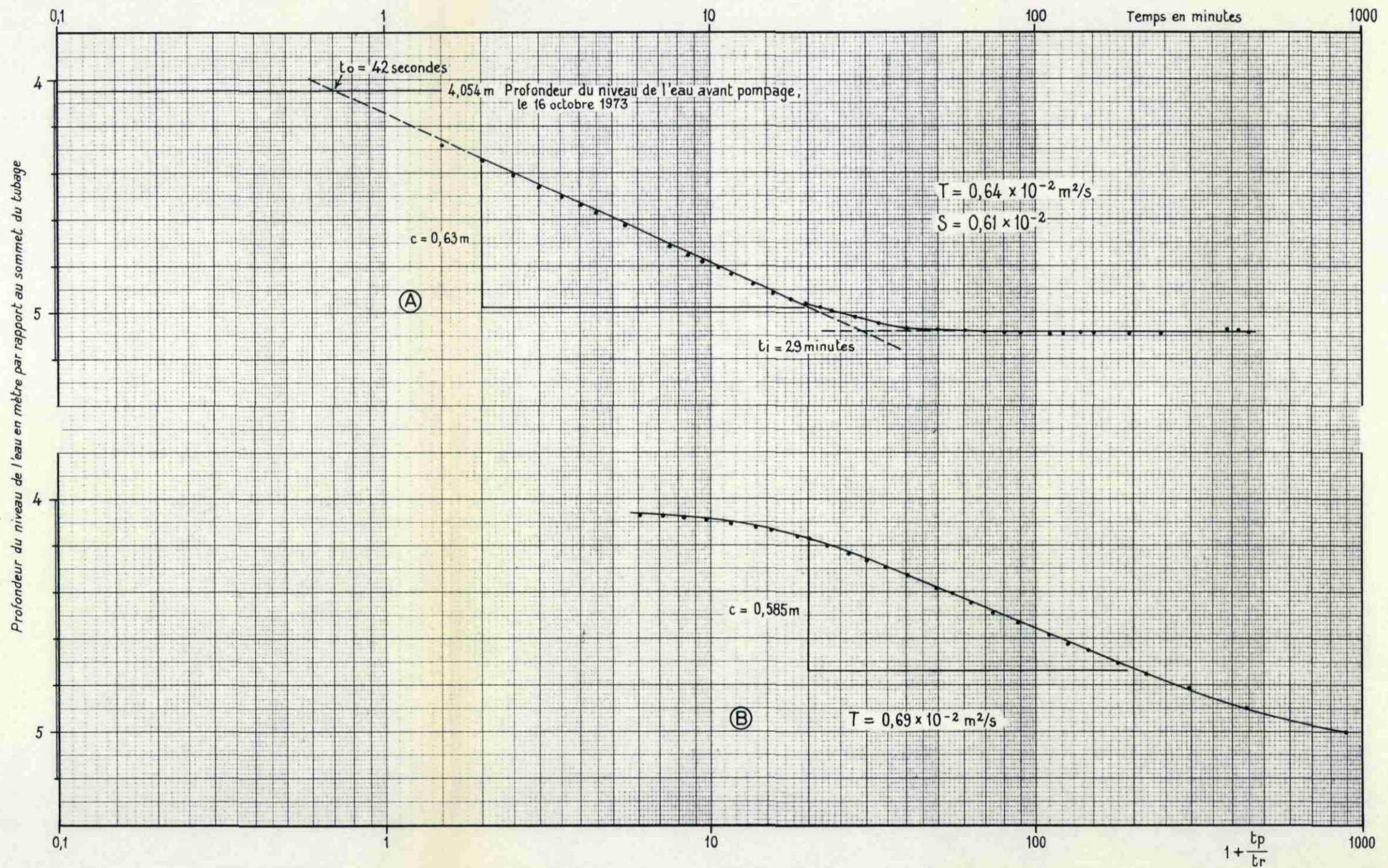
** Paramètre lié à la porosité pour la partie libre de l'aquifère ou à la compressibilité de l'eau et des matériaux alluvionnaires pour la partie captive de l'aquifère.

EXEMPLE D'INTERPRETATION DE POMPAGE D'ESSAI

Forage situé à proximité du puits communal de Marguerittes n° 965-2-152 - $Q = 79 \text{ m}^3/\text{h}$

- (A) Graphique représentatif de la fonction $D = f(\log t)$
 (B) Graphique représentatif de la fonction $D = f\left(\log\left(1 + \frac{t_p}{t_r}\right)\right)$ } dans le piézomètre

D = rabattement
 t = temps écoulé depuis le début du pompage
 t_p = durée du pompage
 t_r = temps écoulé depuis l'arrêt du pompage



- l'écoulement, ou flux d'eau souterraine, dont le débit dépend de la transmissivité (T) et du gradient (pente hydraulique) ;

- la propagation d'influence (c'est-à-dire la transmission d'une différence de niveau ou de pression) qui dépend de la diffusivité (T/S).

On a évalué les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère - T et S - d'après les effets de pompages d'essai effectués sur la Costière-Vistrenque, qui ont permis par ailleurs dans un certain nombre de cas, de mettre en évidence l'effet des limites (réalimentation induite par le Vistre ou par la zone de pié-
mont de la Garrigue, ou limite étanche représentée par le talus de la Costière).

4.2.2 - Déroulement des pompages d'essai

Les valeurs des paramètres hydrodynamiques présentés sur le tableau de l'annexe 7 correspondent à des pompages d'essai pratiqués sur différents types d'ouvrages de captage :

a/- Puits communaux :

20 essais ont été effectués avec les groupes électro-pompes dont le débit varie entre 10 et 100 m³/h équipant les puits communaux. Les débits ont été mesurés soit avec des compteurs installés sur la conduite de refoulement, soit en évaluant le temps nécessaire pour remplir un certain volume du réservoir communal.

Des points d'eau - puits ou forages - situés à proximité des puits communaux ont été utilisés comme piézomètres sur 7 sites de captage pour évaluer en particulier le coefficient d'emménagement de l'aquifère.

Les variations du niveau dynamique dans les ouvrages de captage et les piézomètres ont été enregistrées avec des limnigraphes à axe vertical OTT R16.

b/- Sondages de reconnaissance

10 des 15 sondages effectués en décembre 1974 et janvier 1975 (cf. paragraphe 3.2.2) ont été implantés à proximité de points d'eau utilisés comme piézomètres. Ces sondages forés en diamètre 160 mm, ont atteint le substratum et sont équipés de tubes en PVC crépinés sur quelques mètres de hauteur à leur base. 1 m de tube crépiné comprend 32 fentes de 0,005 x 0,13 m, correspondant à une ouverture de $2,08 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, soit un pourcentage de vide de 5,5 %.

La position des crépines figure sur les coupes de l'annexe 4 sur laquelle

est également présentée une estimation de la productivité de chaque mètre de forage mise en évidence au fur et à mesure de l'avancement de l'outil qui précède d'un mètre le tubage de travail. Les termes suivants sont utilisés :

- débit fort : de l'ordre ou supérieur à 5 m³/h
- débit moyen : compris entre 1 et 5 m³/h
- débit faible : de l'ordre de 1 m³/h
- débit nul

Les pompages d'essai ont été effectués avec 2 groupes moto-pompes de 1,5 et 4 CV.

Les débits ont été mesurés soit avec un tube à diaphragme, soit en évaluant le temps nécessaire pour remplir un récipient de 70 l, pour les débits faibles - de l'ordre ou inférieurs à 10 m³/h -. Les débits prélevés dans les sondages de reconnaissance étaient en général de l'ordre de 10 à 50 m³/h.

Les variations du niveau dynamique de ces sondages et éventuellement des piézomètres ont été mesurées à la sonde électrique.

L'eau était évacuée à une distance suffisante du captage, de l'ordre de 100 m en général, pour éviter son recyclage.

c/- Autres forages de caractéristiques techniques acceptables

7 pompages d'essai ont été effectués dans des forages existant dans la Vistrenque dont la profondeur était de l'ordre d'une dizaine de mètres en général, implantés dans 3 cas à côté d'un second point d'eau utilisé comme piézomètre. Quelques uns de ces forages sont situés en particulier à quelques dizaines de mètres du Vistre et ont permis de déterminer le rôle hydrogéologique de cette rivière.

Comme dans le cas précédent, les pompages d'essai ont été effectués avec deux groupes moto-pompes de 1,5 et 4 CV et les débits prélevés étaient compris entre 10 et 70 m³/h.

Les principaux renseignements concernant les puits et forages utilisés pour effectuer des pompages d'essai sont rassemblés sur le tableau de l'annexe 7 où sont indiqués en particulier :

- la profondeur et le diamètre de l'ouvrage de captage ;
- la profondeur du niveau piézométrique ;
- le débit prélevé au cours des pompages d'essai ;
- la durée du pompage.

4.2.3 - Interprétation des pompages d'essai : évaluation de T et S

Les résultats des pompages d'essai ont été interprétés suivant la méthode semi-logarithmique de JACOB.

Un exemple d'interprétation concernant un pompage d'essai effectué sur un forage communal de Marguerittes à proximité du puits 995-2-152 est proposé ci-dessous :

Le pompage a été effectué le 16 octobre 1973, de 9 h 15 à 17 h. Le débit prélevé était de 79 m³/h.

Le forage est équipé d'un tubage de 206/219 mm, de 0 à 28 m de profondeur. Il a été crépiné de 18 à 28 m de profondeur, soit jusqu'au substratum imperméable ; la surface totale des ouvertures de la partie crépinée est de 0,25 m². Le forage a traversé des limons jusqu'à 11 m de profondeur et des cailloutis villafranchiens plus ou moins consolidés de 11 à 28 m. Un piézomètre de Ø 50/60 mm et de 15 m de profondeur est situé à 10 m du forage.

Nous avons tracé sur la figure 4 le graphique représentatif du rabattement D dans le piézomètre en fonction de log t :

Le premier segment de droite représente la formule d'approximation logarithmique :

$$D = 0,183 \frac{Q}{T} \log 2,25 \cdot \frac{T}{S} \frac{t}{r^2} \quad (1)$$

D = rabattement

Q = débit

T = transmissivité

S = coefficient d'emmagasinement

r = distance du piézomètre au forage = 10 m

t = temps de pompage

} paramètres hydrodynamiques
de l'aquifère

L'équation (1) est de la forme :

$$D = c \log t + \text{Constante} \quad (2)$$

$$c = 0,183 \frac{Q}{T}$$

c représente l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique.

Pour $Q = 79 \text{ m}^3/\text{h}$ $c = 0,63 \text{ m}$ (cf. figure 4)

D'où $T = 0,64 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Par ailleurs dans l'équation (1) :

$$D = 0 \text{ pour un temps } t_0 \text{ tel que } 2,25 \frac{T}{S} \frac{t_0}{r^2} = 1$$

$$\text{D'où } S = 2,25 \frac{T t_0}{r^2}$$

Pour $t_0 = 42$ secondes (cf. figure 4)

$$S = 0,61 \times 10^{-2}$$

Après un temps $t_i = 29$ minutes, le rabattement tend vers une stabilisation, autrement dit le régime d'écoulement transitoire vers l'ouvrage de captage tend vers un régime d'écoulement permanent qui sera explicité ultérieurement dans ce même chapitre.

Remarques :

On peut également évaluer T d'après la courbe de remontée du niveau de l'eau dans le forage ou le piézomètre après l'arrêt du pompage. Le graphique B de la figure 4 représente la fonction :

$$D = c \log \left(1 + \frac{t_p}{t_r} \right) \quad (3)$$

t_p = durée de pompage

t_r = temps écoulé depuis l'arrêt du pompage

La diminution du rabattement dans un cycle logarithmique c est égale à 0,585 m pour $Q = 79 \text{ m}^3/\text{h}$,

$$\text{D'où } T = 0,69 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

En définitive, T est compris entre $0,64 \times 10^{-2}$ et $0,69 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

4.2.4 - Présentation des résultats concernant les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

42 valeurs de T et 19 valeurs de S ont été déduites de l'interprétation des pompages d'essai effectués dans les ouvrages de captage communaux et les forages, dans le cadre de l'étude hydrogéologique de la Costière-Vistrenque.

8 valeurs de T et 2 valeurs de S sont extraites de 2 thèses de l'Université de Montpellier (J. COUDRAY et M. NEJAD HACHEMI).

8 autres valeurs de T sont déduites de l'interprétation des résultats de pompages d'essai archivés au BRGM.

Au total 58 valeurs de T et 21 valeurs de S sont présentées sur le tableau de l'annexe 7.

Les indices de classement des puits et forages sur lesquels ont été effectués les pompages d'essai, figurent sur la carte à 1/100 000 de l'annexe 8.

La carte à 1/100 000 de l'annexe 1 indique un ordre de grandeur de la transmissivité aux emplacements des puits et forages précédents ; le classement des valeurs de T exprimé en $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, est le suivant

$T < 1$
1 $< T < 5$
5 $< T < 10$
 $T > 10$

La synthèse des informations concernant la transmissivité de l'aquifère est présentée sur la carte hydrogéologique à 1/50 000 de l'annexe 2.

La distribution des valeurs de T exprimées en $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, est la suivante

Valeur de T	Nombre
$T < 1$	7
1 $< T < 5$	25
5 $< T < 10$	12
$T > 10$	14

La valeurs médiane de T est égale à $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, soit encore $10 \text{ m}^2/\text{h}$

T est inférieur à $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ sur la Costière, au sud de la flexure post-villafranchienne de Vauvert, située entre cette agglomération et Bouillargues.

Les valeurs les plus élevées de T sont situées :

- de Rodilhan à Milhaud, où T varie entre 1 et $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- à l'extrémité aval de la Vistrenque, entre Vauvert et Codognan, où T est compris entre 1,5 et $3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- ponctuellement, à Marguerittes et près du mas de Pazac, où T est de l'ordre de 2 à $2,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- enfin, sur la Costière de Manduel, où T atteint sa valeur maximale : $4,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, dans le forage 965-6-132 ;

Dans la zone du piémont de la Garrigue T est le plus souvent de

$3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, à l'exception des secteurs de Marguerittes et Milhaud.

Dans l'axe de la Vistrenque, en particulier en bordure du Vistre, la transmissivité est en général comprise entre 5 et $10 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les différences entre les valeurs de T procèdent essentiellement de la consolidation plus ou moins accentuée des cailloutis villafranchiens.

o o

La distribution des valeurs du coefficient d'emmagasinement S est la suivante :

Valeurs de S	Nombre
$1 \times 10^{-5} < S < 1 \times 10^{-4}$	5
$1 \times 10^{-4} < S < 1 \times 10^{-3}$	2
$1 \times 10^{-3} < S < 1 \times 10^{-2}$	8
$S > 1 \times 10^{-2}$	6

On peut admettre que la nappe est libre dans les zones où S est supérieur à 1×10^{-2} et inversement que l'aquifère est captif lorsque S est inférieur à 1×10^{-2} .

Les valeurs médianes de S s'élèvent respectivement à :

5×10^{-2} , lorsque la nappe est libre ;

$1,2 \times 10^{-3}$, lorsque l'aquifère est captif.

La limite de captivité de l'aquifère figure sur la carte à 1/100 000 de l'annexe 1 et la partie captive au cours de l'étiage 1973 est hachurée sur la carte à 1/50 000 de l'annexe 2. Celle-ci correspond en général au piémont de la Garrigue et à la zone où les limons loessiques et le remplissage limoneux de la Vistrenque ont une épaisseur suffisante.

La différence de niveau entre les courbes hydro-isohypses et les courbes isohypses du toit des cailloutis (cf. annexe 2) indique la plus ou moins grande

captivité de l'aquifère; elle est en général de l'ordre de 1 à 3 m et peut atteindre exceptionnellement 5 à 10 m dans la zone de piémont de la Garrigue.

4.2.5 - Exploitation des valeurs de T et S

Les valeurs de T et S qui commandent respectivement les fonctions conductrices et de stockage du réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque sont nécessaires à l'élaboration du modèle de simulation qui devrait constituer un instrument de gestion des eaux souterraines de cet aquifère. Elles constituent donc des entrées d'un tel modèle.

D'une manière plus ponctuelle, les valeurs de T et S permettent de calculer la productivité d'un ouvrage de captage et la propagation d'influence qu'il exerce en un point quelconque de l'aquifère, soit directement par la formule d'approximation logarithmique de JACOB, soit par résolution graphique.

Exemple de calcul de la productivité d'un ouvrage de captage :

$$D = 0,183 \frac{Q}{T} \log 2,25 \frac{T}{S} \frac{t}{r^2} \quad (1)$$

Pour $\left\{ \begin{array}{l} T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ ou } 18 \text{ m}^2/\text{h} \text{ (valeur médiane de la transmissivité)} \\ S = 1,2 \times 10^{-3} \text{ (valeur médiane du coefficient d'emmagasinement dans la partie captive de l'aquifère).} \end{array} \right.$

Calculons D pour $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$

$$c = 0,183 \cdot \frac{Q}{T} \neq 1 \text{ m}$$

$$\frac{T}{S} = 15 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$\text{D'où } D = \log 3,375 \times 10^4 \frac{t}{r^2}$$

D = rabattement en mètre

t = temps de pompage en heure

r = rayon de l'ouvrage de captage ou distance à celui-ci d'un point quelconque de la surface piézométrique.

Supposons que $r = 1 \text{ m}$ (rayon des puits communaux de la Vistrenque)

Pour	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ heure} \\ 10 \text{ heures} \\ 100 \text{ heures} \end{array} \right.$	$D \neq \left\{ \begin{array}{l} 4,50 \text{ m} \\ 5,50 \text{ m} \\ 6,50 \text{ m} \end{array} \right.$	$Q/D = \left\{ \begin{array}{l} 22,2 \text{ m}^2/\text{h} \\ 18,2 \text{ m}^2/\text{h} \\ 15,4 \text{ m}^2/\text{h} \end{array} \right.$
t =			

Au cours de ce pompage fictif, on suppose que l'évolution du rabattement

se poursuit en régime transitoire, c'est-à-dire que le cône de dépression n'atteint pas de limite étanche qui provoquerait une accélération du rabattement ou au contraire de limite à potentiel constant —par exemple, le Vistre— qui entraînerait une stabilisation du rabattement. D'une manière plus générale, le problème des conditions aux limites de l'aquifère sera développé dans le paragraphe 4.3.

En première approximation pour un ouvrage de captage d'un mètre de rayon et un temps de pompage de 10 heures, la transmissivité est égale au débit spécifique (*). Il est commode de retenir cette approximation.

Exemple de calcul de rabattement en un point quelconque de la surface piézométrique

Pour un temps de pompage donné, on peut calculer le rabattement en un point quelconque de l'aquifère ; l'équation $D = f(\log r)$ s'écrit dans ce cas particulier

$$\text{Pour } \begin{cases} Q & = & 100 \text{ m}^3/\text{h} \\ T & = & 18 \text{ m}^2/\text{h} \\ S & = & 1,2 \times 10^{-3} \end{cases}$$

$$D = \log 3,375 \times 10^4 \frac{t}{r^2}$$

Supposons par exemple que $t = 10$ heures

$$\text{Pour } r = \begin{cases} 0,1 \text{ m} & (\text{forage}) \\ 1 \text{ m} & (\text{puits}) \\ 10 \text{ m} & (\text{piézomètre}) \\ 100 \text{ m} & (\text{piézomètre}) \end{cases} \quad D \neq \begin{cases} 7,50 \text{ m} \\ 5,50 \text{ m} \\ 3,50 \text{ m} \\ 1,50 \text{ m} \end{cases}$$

(*) Si l'on néglige les pertes de charge inhérentes à la réalisation de l'ouvrage de captage que l'on peut rendre effectivement négligeables en déterminant correctement les caractéristiques techniques de l'ouvrage de captage et à condition que les opérations de développement soient bien conduites.

4.3 - CONDITIONS AUX LIMITES DU RESERVOIR AQUIFERE

La définition correcte des conditions aux limites importe autant que la distribution des paramètres T et S qui traduit quantitativement la constitution lithologique du réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque.

Ces conditions aux limites sont déterminées à la fois par des facteurs géologiques et hydrologiques. Elles ont été mises en évidence au cours des pompages d'essai soit par une accélération du rabattement (limite étanche de la flexure de Vauvert), soit par une stabilisation du cône de dépression au voisinage du Vistre, et dans la zone de piémont de la Garrigue.

4.3.1 - Liaison hydraulique du Vistre avec le réservoir aquifère

4 pompages d'essai ont été effectués sur des forages implantés à quelques dizaines de mètres du Vistre (n° 965-5-217 ; 965-5-225 ; 965-5-231 et 964-8-39).

Après un régime d'écoulement transitoire variant entre 0 heure 06 et 1 heure 10, l'établissement d'un régime d'écoulement permanent entraîne la stabilisation des rabattements.

Le Vistre se comporte comme une limite d'alimentation à niveau piézométrique constant.

La durée de la période transitoire où l'effet du Vistre ne s'est pas fait sentir est fonction des paramètres hydrauliques de l'aquifère et de la distance à la limite.

Cette période transitoire permet de calculer T et S suivant la méthode de JACOB utilisée au paragraphe 4.2 ; le temps t_i d'intersection du palier horizontal correspondant au régime permanent avec la droite représentative de la fonction $D = f(\log t)$ pendant la période transitoire (cf. figure 4) donne la distance d du puits de pompage au Vistre suivant l'expression :

$$d = 0,75 \sqrt{\frac{T}{S} \cdot t_i}$$

Exemple :

$$\text{Pour } \left\{ \begin{array}{l} T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \\ S = 1,2 \times 10^{-3} \\ t_i = 0 \text{ heure } 30 \end{array} \right.$$

$$d = 65 \text{ mètres.}$$

Cette distance d tient compte du colmatage des berges et du lit du Vistre. Pour cette raison, elle est en général supérieure à la distance réelle séparant le puits de pompage du Vistre.

Le rabattement dans l'ouvrage de captage en régime permanent peut être calculé par l'équation suivante :

$$D = 0,366 \frac{Q}{T} \log \frac{2d}{r}$$

Cette dernière expression ne dépend pas du temps et du coefficient d'emmagasinement.

Exemple :

$$\text{Pour } \left\{ \begin{array}{l} Q = 100 \text{ m}^3/\text{h} \\ T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ ou } 18 \text{ m}^2/\text{h} \\ d = 50 \text{ m} \\ r = 1 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$D \neq 4 \text{ m.}$$

Le Vistre coule dans un lit qui a tendance à devenir artificiel à la suite de travaux répétés de recalibrage.

Les résultats des pompages d'essai effectués en bordure de cette rivière et en particulier la stabilisation des rabattements montre que son lit entaille la couverture limoneuse jusqu'au toit des cailloutis villafranchiens.

Le débit de base du Vistre correspond pour l'essentiel aux apports du réservoir aquifère de la Vistrenque ; la fonction de drainage de cette rivière peut cesser si l'exploitation du réservoir capte tout le débit en provoquant un rabattement suffisant.

Le Vistre est également alimenté par les rejets de la ville de Nîmes en provenance de la station de Comps, qui peuvent contribuer à la réalimentation induite de l'aquifère, lorsque l'on inverse le sens des écoulements par pompage dans le réservoir.

Il est donc intéressant de disposer des informations concernant le débit du Vistre sur lequel deux stations de jaugeages ont été équipées et sont gérées par le SRAE ; la station de Caissargues donne des informations continues depuis

1972 ; la station du Cailar fonctionne d'une manière continue depuis 1968.

Leur emplacement figure sur la carte à 1/50 000 de l'annexe 1.

La distribution mensuelle moyenne du débit du Vistre à la station du Cailar, calculée sur la période 1968/1972 est représentée sur la figure 5.

Le débit moyen annuel, au cours de cette période, est de $4,35 \text{ m}^3/\text{s}$.

Des ordres de grandeur du "débit de base" annuel moyen ont été évalués pour les années 1969 à 1971 par une analyse conventionnelle de l'hydrogramme :

1969	: $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$	soit	95 mm/an	} lame d'eau équivalente sur la surface du bassin versant du Vistre
1970	: $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$	soit	70 mm/an	
1971	: $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$	soit	103 mm/an	

Les débits d'étiage du Vistre, au cours de la même période ont été de :

$1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ en août 1969

$0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en décembre 1970

$0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en octobre 1971

4.3.2 - Modalités de réalimentation de la Vistrenque dans la zone de piémont de la Garrigue

Les pompages d'essai effectués dans certains ouvrages de captage implantés dans la zone de piémont de la Garrigue ont été caractérisés par l'établissement d'un régime d'écoulement permanent après un temps de pompage relativement court, de l'ordre ou inférieur à 1 heure.

Nous analyserons en particulier les résultats obtenus dans l'un des puits communaux de Marguerittes (965-2-152) et dans le puits de la société "Conserves Gard" (965-5-169) situé au sud de St Cézaire, à proximité de l'autoroute.

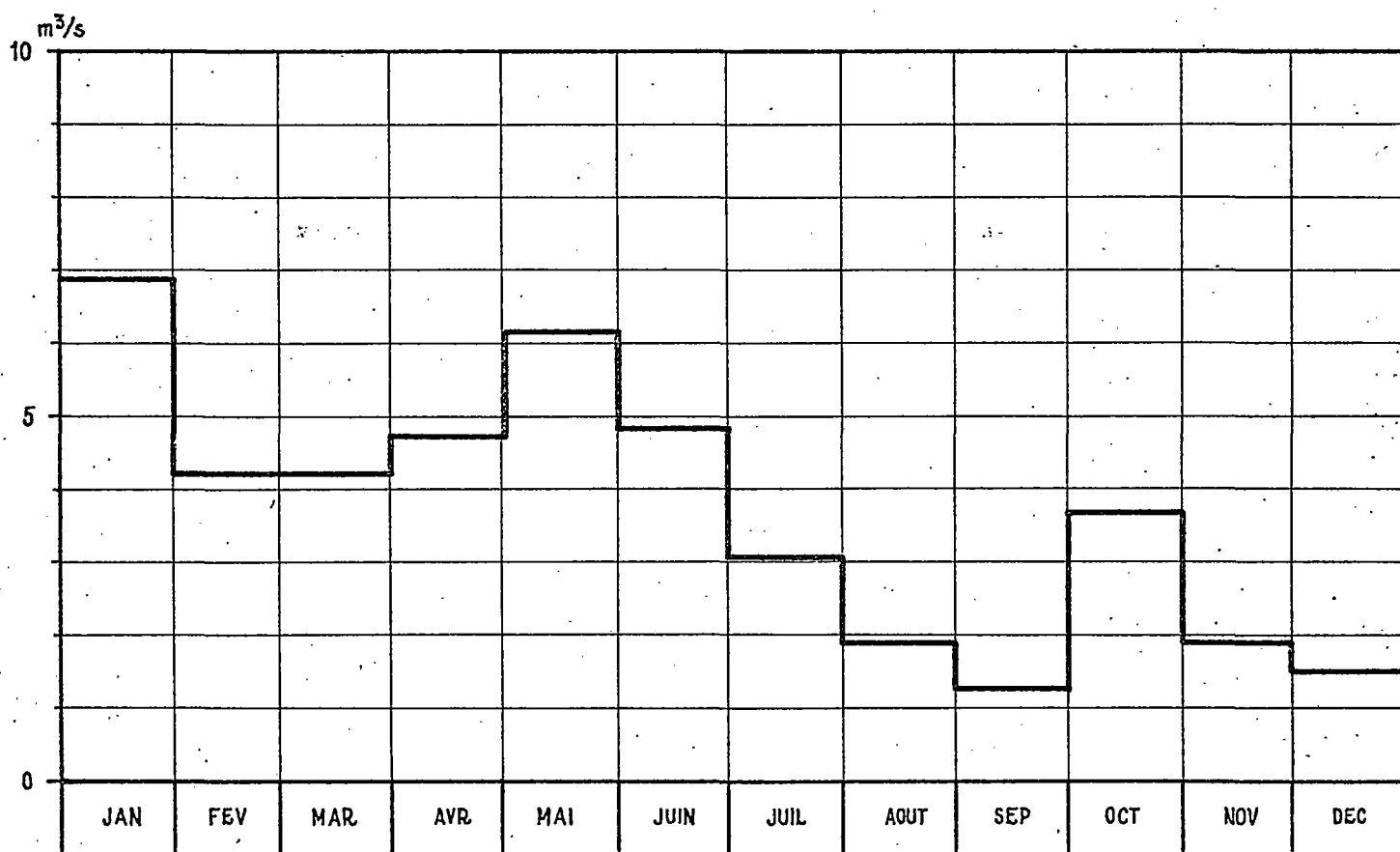
4.3.2.1 - Puits n° 965-5-169

L'interprétation des résultats des pompages d'essai effectués dans ce dernier ouvrage de captage est présentée dans la thèse de M. NEJAD HACHEMI*
Le puits est situé à 1 km des affleurements calcaires de la Garrigue et à 2 km du Vistre. Sa profondeur est de 21 m et son diamètre est de 2 m.

* Université de Montpellier - Février 1968.

DEBITS MOYENS MENSUELS DU VISTRE EVALUES SUR LA PERIODE

1968-1972 A LA STATION DU CAILAR



La coupe des terrains traversés est la suivante :

- 0 à 8 m : argile jaune enrobant des galets anguleux
- 8 à 14 m : sables fins, graviers et galets
- 14 à 16 m : graviers propres
- 16 à 21 m : sables enrobant de gros galets
- 21 m : substratum argileux imperméable.

La profondeur du niveau piézométrique était de 4,56 m le 20 février 1967.

Deux forages ont été utilisés comme piézomètre : le premier est situé à 2,70 m au nord du puits, le second à 374 m à l'ouest du puits.

Le pompage d'essai a commencé le 18 avril 1967 à 8 h 50 et s'est poursuivi jusqu'au 24 avril à 15 h. Les résultats des mesures figurent dans le tableau ci-contre.

L'interprétation de la descente du niveau dynamique du puits et du piézomètre n° 1 au cours de la période d'écoulement transitoire du premier palier a permis de calculer la transmissivité :

$$T = 0,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Le calcul de S a été effectué d'après l'interprétation de la courbe représentative de la descente du niveau dynamique du piézomètre n° 2 :

$$S = 0,9 \times 10^{-5}$$

M. NEJAD HACHEMI propose l'interprétation suivante pour expliquer l'établissement du régime permanent :

"Compte tenu de la non réinfiltration des eaux exhaurées qui d'après les mesures de contrôle exercées était presque nulle, la stabilisation peut être due à deux causes :

- la drainance par le mur ou le toit de l'aquifère ;
- l'alimentation par un front perméable.

Le fait que l'amorce de la stabilisation se produit à des instants différents sur les 2 piézomètres, démontre (HANTUSH) qu'il ne s'agit pas d'une drainance. La réalimentation de la nappe provient donc vraisemblablement de la Garrigue, comme nous le montre d'ailleurs, la carte piézométrique.

Nous reviendrons sur ce commentaire après la présentation des résultats des pompages d'essai effectués sur le puits communal de Marguerittes.

RESULTATS DU POMPAGE D'ESSAI EFFECTUE DANS LE PUIITS DE LA SOCIETE "CONSERVES GARD"

Palier	Débit en m ³ /h	Durée	Rabatement en mètres (D)			Observations
			Puits	Piézomètre P1	Piézo. P2	
1	79,2	5 h 40	7,15 ± 0,10	7 ± 0,10	0,45 m	Stabilisation de (D) dans le puits et P1 après 1 h 40 de pompage, et dans P2 après 3 h 25.
2	100,8	43 h 30	9,35 ± 0,10	9,15 ± 0,10	0,70 m	Stabilisation de (D) dans le puits et P1 après 5 h de pompage (palier n° 2) et dans P2 après 7 h.
3	126	64 h 50	11,89	11,38	0,94 m	Stabilisation de (D) dans le puits et P1 après 0 h 55 de pompage (palier n° 3). Pas de stabilisation dans P2.
4	133,2	23 h 40	11,89	11,30	1 m	Pas de stabilisation dans P2.
Remontée	0	48 h	0,30	0,34	0,25 m	

4.3.2.2 - Puits n° 965-2-152

Nous avons suivi, au point de vue hydrogéologique, les travaux de captage entrepris pour couvrir les besoins en eau futurs complémentaires de la commune de Marguerittes évalués à 300 m³/h.

Un premier puits a été effectué de février à août 1974 * ; un second puits a été réalisé au cours du premier semestre 1975 **.

La distance entre les 2 ouvrages de captage est de 42 m ; leur diamètre intérieur est de 2 m.

Nous présenterons les principaux résultats des pompages d'essai effectués sur le puits n° 2, qui apportent des informations identiques à celles obtenues lors de l'interprétation des pompages d'essai effectués sur le premier puits.

Le puits n° 2 a été creusé jusqu'à 26 m de profondeur ; 750 barbacanes de Ø 100 mm ont été mises en place entre 12 et 26 m de profondeur ; la surface totale des ouvertures est égale à 5,9 m².

La coupe géologique simplifiée des terrains traversés est la suivante :

0 à 10 m : argile compacte contenant un passage de cailloutis calcaires de 2,5 à 3,75 m ;

10 à 26 m : cailloutis villafranchiens aquifères contenant des intercalations de poudingues dont l'épaisseur cumulée est de l'ordre de 5 m ;

à 26 m : substratum argileux.

Le 16/05/1975, avant le début du pompage, la profondeur du niveau piézométrique dans le sondage de reconnaissance de Ø 200 mm environ, situé à 25 m environ du puits, était de 4,65 m par rapport au sommet du tubage, soit 4,20 m par rapport au sol.

Ce sondage est équipé d'un limnigraphe OTT R16 depuis décembre 1973 (cf. annexe 5) ; les pompages d'essai ont été réalisés du 16 au 22 mai 1975, au cours d'une période d'étiage sévère.

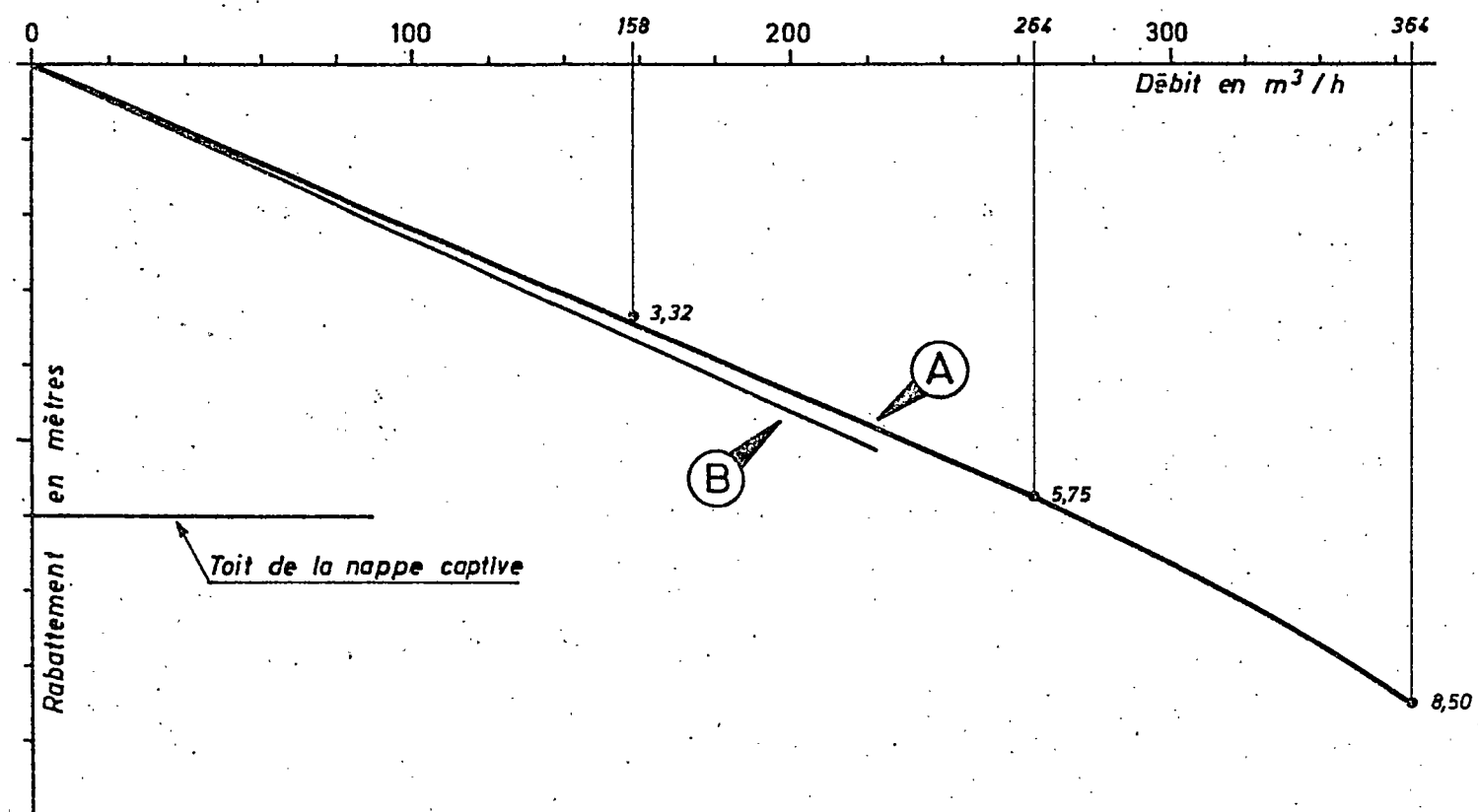
Les variations du niveau dynamique, au cours du pompage dans le puits n° 2, ont été enregistrées sur les puits n° 1 et n° 2 (cf. annexe 9).

Les débits prélevés dans le puits n° 2 ont été successivement de 158 m³/h,

* Cf. rapport BRGM 74 LRO PR 132 du 07/10/1974

** Cf. rapport BRGM 75 LRO PR 151 du 06/06/1975

COURBES CARACTERISTIQUES DES PUIS COMMUNAUX
DE MARGUERITTES



(A) Puits n° 2 (965.2.152)

(B) Puits n° 1 (965.2.151)

264 m³/h et 364 m³/h, cette dernière valeur correspondant au débit maximum des 2 groupes électro-pompes installés dans le puits.

Les pompages d'essai avaient un double objectif :

- déterminer la courbe caractéristique du puits, c'est-à-dire la relation rabattement (D) / débit (Q).;

- observer l'évolution du rabattement en fonction du temps de pompage pour obtenir des informations concernant le mode de réalimentation de l'ouvrage de captage.

La courbe représentative de la fonction $D = f(Q)$ en régime permanent relative au puits n° 2, montre que le rabattement (D) est une fonction linéaire du débit pour $Q \leq 300$ m³/h (Cf. figure 6).

Pour un débit de l'ordre de 400 m³/h, le rabattement serait de 10 m en première approximation.

L'écart entre la productivité des puits n° 1 et n° 2 est de l'ordre de 5 %.

Compte tenu de leur inter-influence, le débit d'exploitation global des 2 ouvrages de captage pourrait atteindre 600 m³/h environ, à condition que le régime d'écoulement permanent se poursuive.

Il existe en effet une indétermination majeure sur le processus de réalimentation de l'aquifère, c'est-à-dire sur le schéma hydrogéologique de la zone de piémont de la Garrigue.

Comme pour le puits de la Société "Conserves Gard", l'évolution du rabattement en fonction du temps de pompage correspond à deux phases successives (cf. annexe 9) :

- l'évolution en régime transitoire des niveaux dynamiques pendant la première partie du pompage qui est en particulier fonction des paramètres T et S ($T = 0,6 \times 10^{-3}$ m²/s ; $S \neq 0,6 \times 10^{-2}$) ;

- l'établissement d'un régime d'écoulement permanent après un temps $t_i \neq 0$ h 36 qui entraîne la stabilisation du rabattement au cours du pompage.

Plusieurs hypothèses peuvent a priori justifier théoriquement l'établissement du régime permanent :

1°/- Alimentation par une limite à potentiel constant située à une distance d du puits.

Compte tenu de la valeur de la diffusivité ($\frac{T}{S} \neq 1$ m²/s), d serait de l'ordre de 35 m.

L'eau étant refoulée suffisamment loin pour qu'il n'y ait aucune ambiguïté possible concernant un éventuel recyclage et aucun plan d'eau naturel n'étant situé à proximité du puits, cette première hypothèse ne sera pas retenue.

2°/- Communication entre deux aquifères suivant le schéma de BOULTON

On suppose qu'un débit retardé proportionnel au rabattement provient du toit de l'aquifère ; ce débit n'est pas constant. La nappe est captive et elle est surmontée d'une couche "magasin" peu transmissive mais à coefficient d'emmagasinement S' appréciable, à surface d'eau libre.

Dans ce schéma, la nappe réagit selon trois phases différentes. Le débit de la descente est régi par la loi de JACOB et défini par T et S ; la fin de la descente est celle que l'on aurait observée si le coefficient d'emmagasinement était $S + S'$ au lieu de S . Ces deux droites sont reliées par un palier horizontal ou par une courbe de pente nettement plus faible que celle du début et de la fin du pompage.

Ce schéma peut a priori correspondre au site étudié ; dans ce cas, au cours du pompage d'essai, on aurait observé la descente initiale et le palier intermédiaire.

3°/- Communication entre deux aquifères suivant le schéma de HANTUSH

Cet auteur suppose qu'un débit retardé proportionnel au rabattement provient du toit de l'aquifère et que ce débit est permanent ; cette hypothèse se trouve vérifiée quand l'aquifère testé est en communication avec une nappe sus-jacente dont le débit d'alimentation est suffisant pour maintenir une pression constante malgré un transfert d'eau vers l'aquifère soumis au pompage.

Ce schéma peut éventuellement être compatible avec la structure géologique du site de captage par suite de l'existence au moins localement d'une nappe "perchée" dans les limons et cailloutis calcaires correspondant aux formations de piémont de la Garrigue nîmoise. Celle-ci pourrait être réalimentée par les calcaires plus ou moins karstifiés du Crétacé ou éventuellement par la faille de Nîmes sur certaines parties de son trajet. Le ruissellement sur la Garrigue contribue également à alimenter la zone de piémont, au moins à l'aval des ruisseaux qui entaillent la Garrigue.

Par ailleurs, et d'une manière générale, dans les schémas de BOULTON et de HANTUSH, c'est-à-dire lorsqu'un débit, retardé proportionnellement au rabattement, provient du toit de l'aquifère, t_i a la même valeur dans tous les piézomètres ; au contraire t_i a des valeurs différentes dans chaque piézomètre lorsqu'il s'agit d'une alimentation par une limite à niveau d'eau constant située à une distance d du puits (hypothèse 1). Dans le cas présent $t_i \neq 0$ h 36 a la même valeur dans deux piézomètres $P \varnothing 60$ et $P \varnothing 200$, situés cependant à une distance insuffisante l'un de l'autre — de l'ordre de 10 m — pour qu'il soit permis de conclure sur ce point.

Au point de vue pratique, le problème à résoudre est le suivant : pour un débit de l'ordre de $600 \text{ m}^3/\text{h}$, prélevé dans le dispositif de captage de la commune de Marguerittes (puits n° 1 et puits n° 2), est-ce que l'on observera "indéfiniment" la stabilisation du rabattement mesuré dans les 2 puits ?

Dans le cadre de l'exploitation rationnelle des ressources en eau de la région nîmoise, il nous apparaît souhaitable de réaliser un pompage d'essai de très longue durée sur ce dispositif de captage qui représente un lieu d'expérimentation.

tation privilégié pour les raisons suivantes :

- la qualité de l'eau est acceptable = la résistivité de l'eau est de l'ordre de 1 500 ohm.cm à 20° ; le titre hydrotimétrique varie entre 30 et 35° ;

- le rendement du dispositif de captage est bon, compte tenu des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et des conditions de réalimentation qu'il convient cependant de préciser ;

- le rejet des eaux prélevées dans le dispositif de captage peut s'effectuer éventuellement dans de bonnes conditions, si l'on retient en particulier, la possibilité de les injecter dans la conduite de la ville de Nîmes, qui passe à proximité des captages, à une distance de l'ordre de 100 m.

Par ailleurs, dans le cadre du recensement des données préalables à l'établissement d'un modèle de gestion des eaux souterraines de la Vistrenque, ce pompage d'essai de longue durée apporterait des informations utiles pour l'élaboration du modèle.

Cependant, au moins provisoirement et compte tenu du coût relativement élevé d'un tel pompage, on peut accepter différentes hypothèses sur le schéma hydrogéologique de la zone de piémont de la Garrigue. Selon les résultats de l'exploitation du modèle de simulation, l'opportunité de la nécessité de réaliser ce pompage d'essai apparaîtra plus clairement.

5 - EVALUATION DE L'INFILTRATION EFFICACE

APPLICATION DU MODELE "MERO" AU BASSIN VERSANT DU VISTRE

Le modèle MERO permet de calculer les valeurs de l'infiltration efficace, et de rendre compte de l'évolution des réserves en eau souterraine du bassin versant hydrologique du Vistre, fermé au droit du Cailar

5.1 - PRINCIPE

Une analyse journalière des données relatives aux précipitations, à l'évaporation et aux débits du Vistre permet de calculer les valeurs quotidiennes de l'infiltration efficace.

Le sol est représenté par un ensemble de deux réservoirs : la pluie alimente en premier lieu le réservoir superficiel (U) jusqu'à saturation (UMAX), puis l'eau excédentaire diminuée du ruissellement (FLOW) est répartie entre le réservoir inférieur (L) et l'écoulement souterrain (GW), en fonction directe du taux de remplissage de (L).

De même, l'évapotranspiration joue d'abord sur le réservoir (U) puis ensuite sur le réservoir (L) en fonction directe du taux de saturation de celui-ci.

Le modèle doit être ajusté de façon à reconstituer le plus fidèlement possible le débit total de la période de calage, mesuré à l'exutoire du bassin versant.

5.2 - DONNEES UTILISEES

Les données exprimées en lames d'eau uniformes sur l'aire du bassin versant sont les suivantes :

5.2.1 - Précipitations

Les mesures journalières de 7 pluviomètres (la Plantade, Garons, Asport, Cauvin, Courbessac, Mas de Ponge, Villevieille) exploitées par la Météorologie nationale, la CNABRL et la Direction départementale de l'Equipement, ont été pondé-

rées en raison des surfaces attenantes à chaque station, limitées par les médianes des segments de droite reliant les postes voisins (méthode de Thiessen).

Stations	Poids en %
La Plantade	13,6
Garons	16,3
Asport	21,0
Couvin	8,0
Courbessac	15,2
Mas de Ponge	3,3
Villevieille	22,6

5.2.2 - L'évapotranspiration

Les relevés journaliers de 4 évaporomètres de Piche (La Plantade, Asport, Couvin, Courbessac) gérés par la CNABRL et d'une station thermométrique de la Météorologie nationale, à Courbessac, ont été pondérés comme la pluviométrie (méthode de Thiessen) ; suivant 6 schémas dépendant des stations en service suivant les mois.

Mesure,	Station	Poids en %					
		Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
Piche	La Plantade	-	-	14,5	14,5	-	-
"	Courbessac	-	-	43,0	52,4	100,0	50,0
"	Couvin	-	-	9,4	-	-	-
"	Asport	50,0	-	33,1	33,1	-	50,0
Température	Courbessac	50,0	100,0	-	-	-	-

L'évapotranspiration potentielle est extraite des mesures de :

- l'évaporomètre de Piche par la formule de Bouchet

$$ETP = \infty (\text{mesure Piche}) \left[1 + \lambda (\theta) \right]$$

- α : coefficient expérimental fonction de la nature de l'évaporomètre choisi et de l'abri utilisé (abri bordeaux : 0,37)
- $\lambda(\theta)$: facteur correctif de l'évaporomètre Piche
- θ : température moyenne entre la température moyenne de l'air et le point choisi de rosée confondu pour la circonstance avec la température minimale

- la température par la formule de Thornthwaite

$$ETP = 16 \left(\frac{10 t}{I} \right)^a \cdot F(\lambda)$$

t : température moyenne journalière

I : indice thermique annuel, somme des 12 indices thermiques mensuels i

$$i = \left(\frac{t_m}{5} \right) 1,514$$

t_m = température moyenne mensuelle

a = fonction de l'indice I

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49$$

F(λ) = fonction mensuelle théorique d'insolation, constante mensuelle pour une latitude donnée.

Ces deux méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration potentielle ont l'avantage de n'imposer la connaissance que d'un seul paramètre hydroclimatique. Elles n'ont cependant pas la rigueur de la solution de Penman, basée sur une évaluation objective du bilan énergétique de la surface évaporante.

- l'évapotranspiration potentielle suivant la formule de Penman

$$ETP = \frac{1}{L} \frac{R_n \frac{F'T}{\gamma}}{1 + \frac{F'T}{\gamma}} + EA \frac{1}{1 + \frac{F'T}{\gamma}}$$

L : chaleur latente d'évaporation de l'eau (cal/cm²)

R_n : rayonnement net évalué par la formule de Brunt

$$R_n = I_{ga} (1 - a) \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right) - \sigma T^4 (0,56 - 0,08 \sqrt{e}) \left(0,1 + 0,9 \frac{h}{H} \right)$$

I_{ga} : radiation solaire directe en l'absence d'atmosphère (cal/cm²)

a : albedo

h : durée réelle d'insolation (heure)

H : durée maximale possible d'insolation (heure)

σ : constante de Stéphan-Boltzman (1,9 · 10⁻⁷ cal/cm²/jour/°K)

T : température de l'air sous abri (°K)

e : tension de vapeur d'eau mesurée sous abri (mb)

F'T : pente de la courbe de tension saturante pour la température de l'air considérée

γ : constante psychrométrique
EA : pouvoir évaporant de l'air

$$EA = (e - e_w) \varphi (V)$$

e_w : tension maximale de la vapeur d'eau pour la température T (mb)

$\varphi (V)$: fonction de la vitesse du vent

V : vitesse du vent moyenne en m/s mesurée à 10 m au-dessus de la surface évaporante

Pour utiliser la formulation de Penman, tout en négligeant la connaissance des paramètres atmosphériques tels que l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la durée d'insolation, une corrélation double a été calculée à Courbessac entre :

- les évapotranspirations Penman et Thornthwaite sur la période 1961/1966,
- les évapotranspirations Bouchet et Thornthwaite pour la période 1969/1973, en vue d'en tirer la relation mensuelle évaporation Penman/évaporation Bouchet, par le jeu du coefficient B (tel que ETP Penman = B ETP Bouchet)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
B	0,95	1,70	1,60	0,95	1,10	1,00	0,75	0,70	0,65	0,60	0,50	0,55

En définitive, le modèle utilise l'évapotranspiration pondérée et corrigée par le facteur B.

5.2.3 - Les irrigations

Le volume d'eau déversé à partir du Rhône par la CNABRL dans les secteurs ou fractions de secteurs d'irrigation inclus dans le bassin versant, est comptabilisé mensuellement (cf. tableau ci-contre).

APPORTS PAR IRRIGATION SUR LE BASSIN DU VISTRE

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1973	0,4*	0,5	1,2	2,7	7,1	6,6	9,6	8,7	4,5	0,8	-	-	> 42,1
1972	0,4	0,4	0,5	1,8	3,9	3,3	10,5	7,4	1,1	0,8	0,7	0,4	31,2
1971	0,6	0,5	0,5	0,5	1,6	4,1	9,7	10,7	4,7	0,9	0,5	0,5	34,8
1970	0,2	0,2	0,3	1,5	4,0	6,0	9,4	6,9	1,8	0,9	0,6	0,5	32,3
1969	0,2	0,3	0,4	1,8	3,0	4,6	7,4	6,5	1,6	0,5	0,2	0,3	26,8
1968	-	-	-	-	-	-	-	4,3	0,1	0,8	0,3	0,3	28,1

* lame d'eau en mm

Bassin versant : 490,3 km²

DEBIT MOYEN (Q) DU VISTRE A LA STATION DU CAILLAR

Débit en m³/s

100

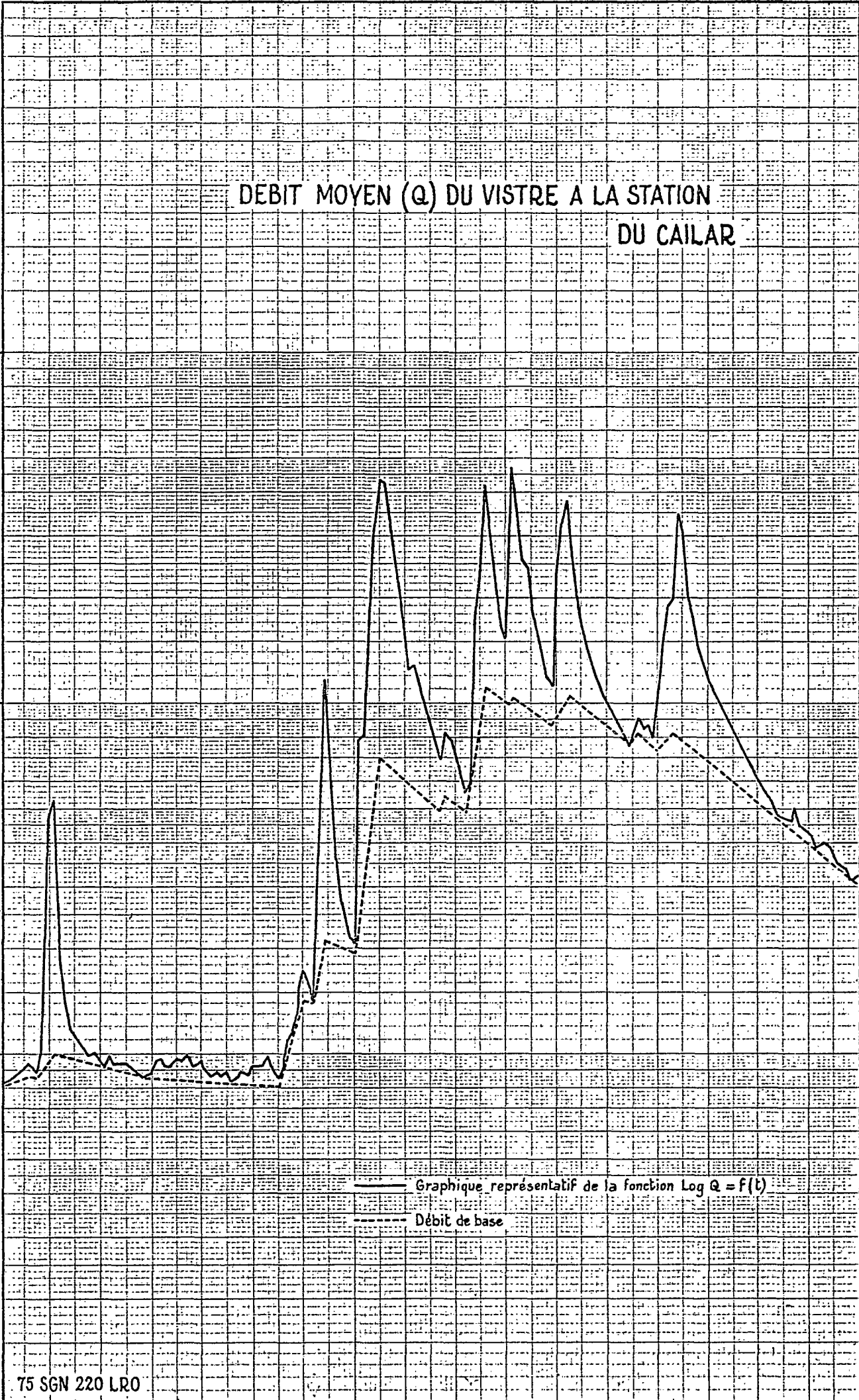
10

1

— Graphique représentatif de la fonction $\text{Log } Q = f(t)$
- - - Débit de base

75 SGN 220 LRO

NOVEMBRE 1971 DECEMBRE JANVIER FEVRIER MARS AVRIL 1972



Les valeurs journalières introduites en entrée dans le modèle représentent le résultat de la division de la lame d'eau mensuelle par le nombre de jours du mois considéré.

5.2.4 - L'alimentation en eau de la ville de Nîmes

Les pompages à la station de Comps dans les alluvions du Rhône ont été comptabilisés à raison de 50 000 m³/jour, soit approximativement un apport constant de 0,1 mm par jour.

Ces trois entrées-précipitations journalières, lames d'eau équivalentes aux irrigations et au volume prélevé à la station de Comps, ont été traitées préalablement au passage du programme MERO en vue de les sommer journalièrement et de les considérer comme une pluie.

5.2.5 - Les débits moyens journaliers du Vistre

Mesurés à la station du Cailar, les débits moyens journaliers du Vistre ont permis de tracer l'hydrogramme sur la période 1968/1972 en coordonnées semi-logarithmiques - $\log Q = f(t)$ -

Par une analyse conventionnelle, on peut séparer les deux composantes de l'hydrogramme :

- le ruissellement, qui constitue une des entrées du modèle MERO ;
- le "débit de base", représentant l'apport des eaux souterraines à l'écoulement de surface.

Le raccordement entre deux droites de tarissement se fait en joignant sur le graphique $\log Q = f(t)$, le pied de l'onde de crue appartenant à la première droite de tarissement et le point de la seconde qui est à l'aplomb du maximum de la crue (cf. figure 7 qui représente un extrait de l'hydrogramme du Vistre en coordonnées semi-logarithmiques).

Les données relatives au ruissellement, introduites dans le modèle MERO, ont été converties en lames d'eau journalières réparties uniformément sur le bassin versant hydrologique du Vistre.

Remarques :

Le débit souterrain de la nappe du Vistre $Q_w = T.i.L$

T = transmissivité de l'aquifère

i = gradient de la nappe

L = longueur de l'équipotentielle passant par le Cailar

est de l'ordre de 50 à 60 l/s, et ses variations sont négligeables en première approximation.

Il est équivalent à une lame d'eau de 0,01 mm par jour et a été négligé dans les entrées du modèle.

5.3 - CALAGE DU MODELE

La plus longue période correspondant à la connaissance simultanée des éléments du bilan (pluie, évapotranspiration, ruissellement) s'étend de septembre 1968 à décembre 1972.

A l'intérieur de cette période, les 24 mois compris entre le 1er octobre 1968 et le 15 octobre 1970, ont été retenus pour le calage des paramètres (UMAX) et (LMAX) (valeurs de la réserve en eau maximale des réservoirs (U) et (L)). Ces deux dates correspondent à un état identique de la surface piézométrique et du débit du Vistre.

Le calage pour UMAX = 100 mm et LMAX = 225 mm permet de reconstituer le débit total écoulé entre le 1/10/1968 et le 1/10/1970 :

- écoulement calculé = 458,3 mm

- écoulement mesuré = 459,6 mm

5.4 - PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

5.4.1 - Présentation des résultats

Sur les bordereaux de sortie des résultats figurent en particulier les

valeurs journalières de la pluie de l'évapotranspiration potentielle ETP, de l'évapotranspiration réelle ETR, du ruissellement FLOW et de l'infiltration GW. A la fin de chaque mois sont données les valeurs cumulées des paramètres précédents ETP, ETR, FLOW et GW et du débit total représentant la somme FLOW + GW.

Les valeurs mensuelles de la somme FLOW + GW - ruissellement + infiltration - c'est-à-dire de la pluie efficace et du débit mesuré à la station de jaugeage du Cailar apparaissent sur le graphique de la figure 8 . Elles sont exprimées en 10^6 m^3 .

Eu égard à la surface du bassin versant du Vistre, une valeur de $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ correspond à une lame d'eau de 2 mm en première approximation.

Le graphique de la figure 8 a été tracé à partir des valeurs mensuelles de l'infiltration GW.

Les périodes d'infiltration correspondent à des cycles dont la durée est de 4 mois en général et qui se situent dans la période comprise entre octobre et mai.

Pour les 4 années hydrologiques correspondant à la période comprise entre septembre 1968 et août 1972, les lames d'eau et volumes annuels infiltrés sur le bassin versant du Vistre sont les suivants :

Année hydrologique	Infiltration GW	
	en mm	en $10^6 \text{ m}^3/\text{an}$
1968/1969	97	47
1969/1970	158	77
1970/1971	190	93
1971/1972	261	128

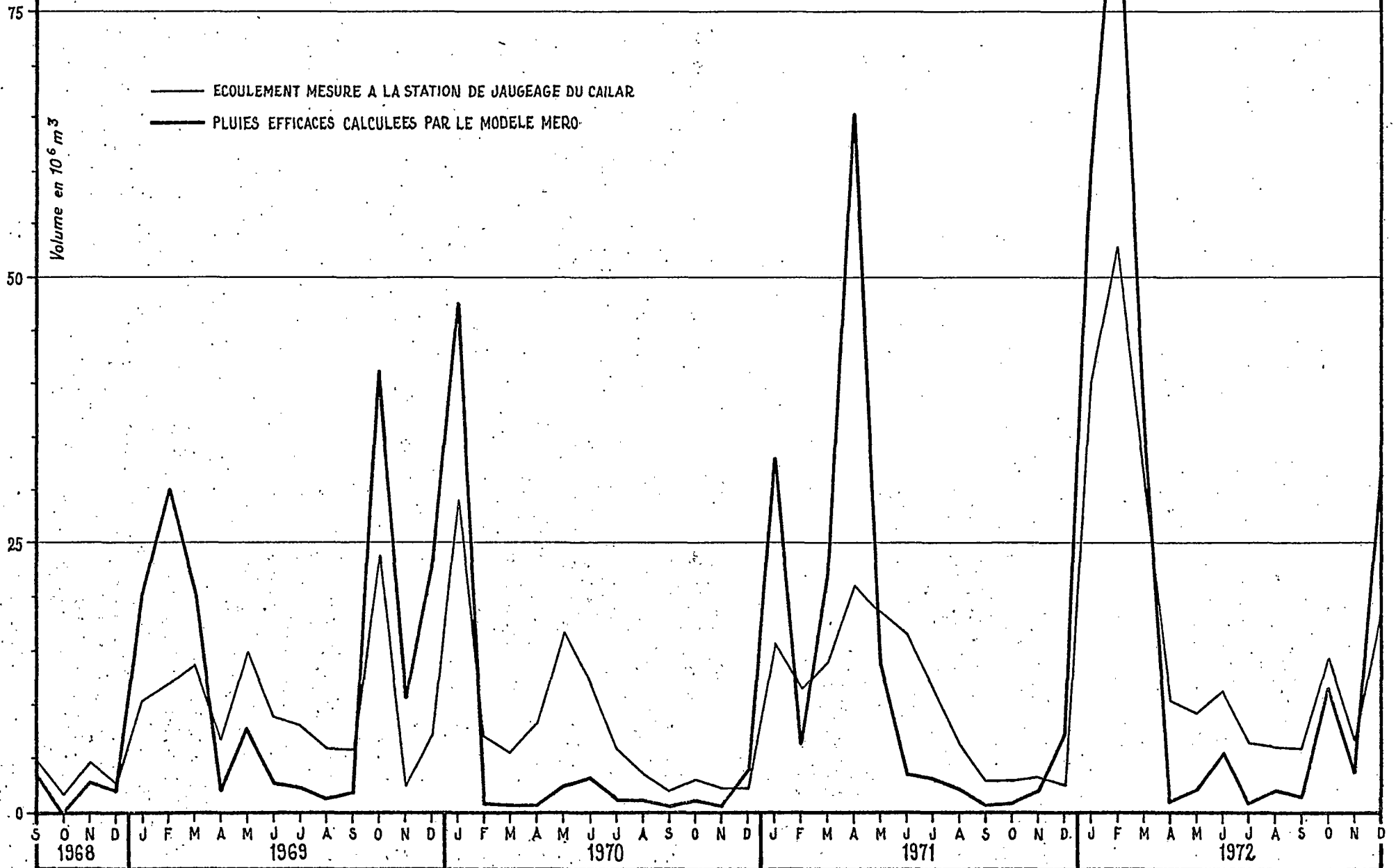
5.4.2 - Comparaison alimentation-débit

a/- Au cours de la période de calage

La comparaison entre les pluies efficaces et le débit du Vistre mesuré au Cailar permet de définir, au cours de la période de calage, 2 cycles hydrolo-

BASSIN DU VISTRE

AJUSTEMENT DU MODELE MERO AVEC $U_{maxi} = 100 \text{ mm}$ $L_{maxi} = 225 \text{ mm}$



giques comportant chacun une période de reconstitution des réserves souterraines avec pluie efficace > débit (automne, hiver) et une période de tarissement avec pluie efficace < débit (printemps, été). L'évolution des réserves souterraines (comparaison alimentation-débit) est donnée par le tableau suivant :

Cycle hydrologique	Période de reconstitution des réserves		Période de tarissement des réserves	
	Périodes	Différence alimentation MERO-Débit	Périodes	Différence alimentation MERO-Débit
Janvier 1969 à Septembre 1969	01/1969 03/1969	+ 69,5 mm (34,0 . 10 ⁶ m ³)	04/1969 09/1969	- 66,0 mm (32,4 . 10 ⁶ m ³)
Octobre 1969 à Novembre 1970	10/1969 01/1970	+ 106,6 mm (52,3 . 10 ⁶ m ³)	02/1970 11/1970	- 110,0 mm (53,9 . 10 ⁶ m ³)

Pour les cycles janvier 1969/septembre 1969 (année humide *) et octobre 1969/novembre 1970, le bilan alimentation, tarissement est équilibré à 3,5 mm près.

b/- Au cours de la période 1971/1972

Le graphique de la figure 9 montre les variations des réserves souterraines en 1971 et 1972 soit postérieurement à la période de calage.

Leur évolution est également présentée dans le tableau suivant :

Cycle hydrologique	Période de reconstitution des réserves		Périodes de tarissement des réserves	
	Périodes	Différence alimentation MERO-Débit	Périodes	Différence alimentation MERO-Débit
Décembre 1970 à Novembre 1971	12/1970 04/1971	+ 142,2 mm (69,7 . 10 ⁶ m ³)	05/1971 11/1971	- 83,7 mm (41,0 . 10 ⁶ m ³)
Décembre 1971 à Novembre 1972	12/1971 03/1972	+ 131,2 mm (64,3 . 10 ⁶ m ³)	04/1972 11/1972	- 85,5 mm (41,9 . 10 ⁶ m ³)

* Station de Nîmes Courbessac : Moyenne annuelle 1952/1973 des pluies de l'année hydrologique (1er septembre - 31 août) : 731,2 mm.

Pluviométrie : 1968/69 = 813,6 mm
 " 1969/70 = 782,7 mm
 " 1970/71 = 896,1 mm
 " 1971/72 = 1 067,4 mm

BASSIN DU VISTRE

INFILTRATION MENSUELLE CALCULEE PAR LE MODELE MERO

75

Volume en $10^6 m^3$

50

25

0

S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D

1968 1969 1970 1971 1972

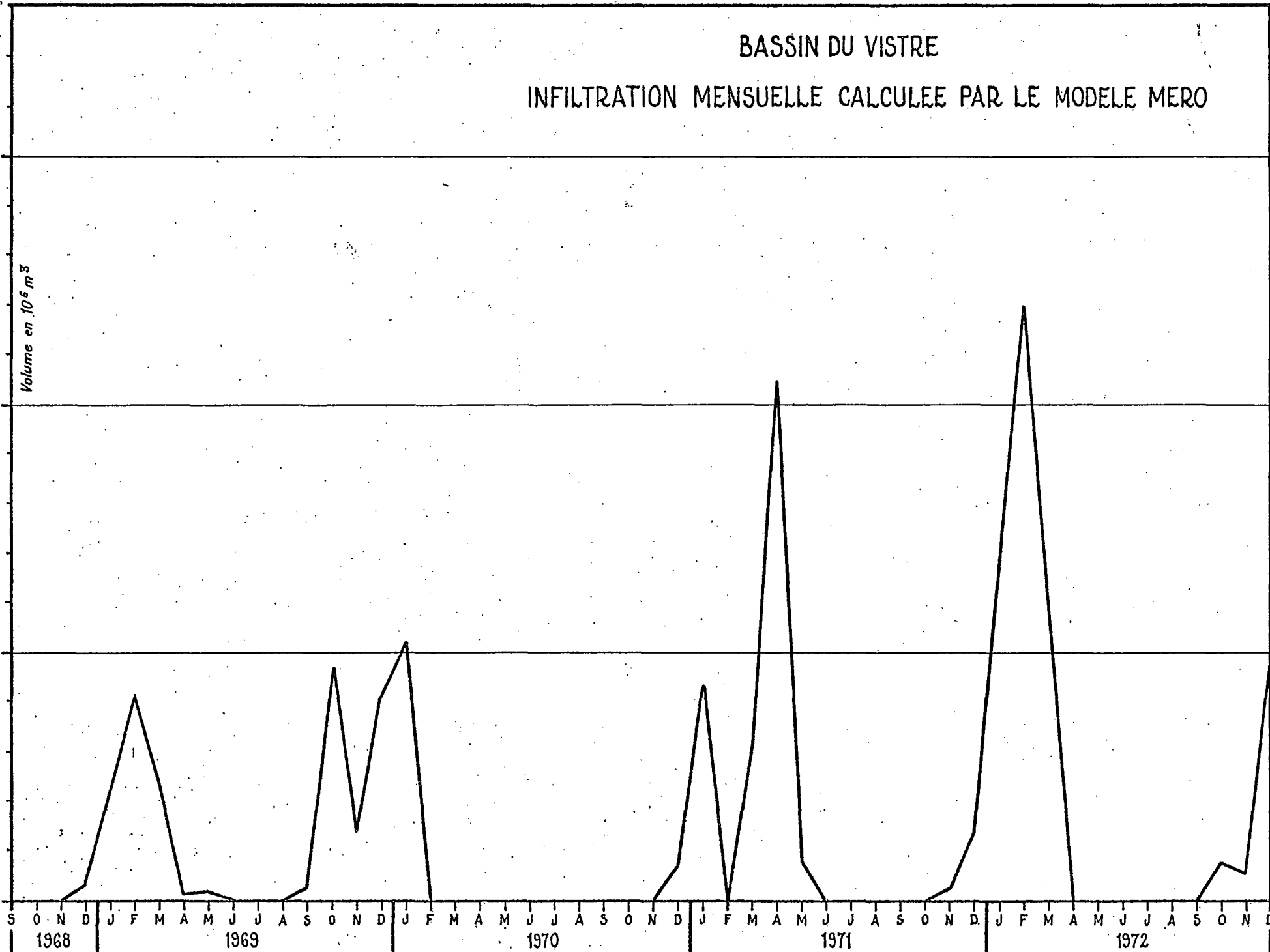
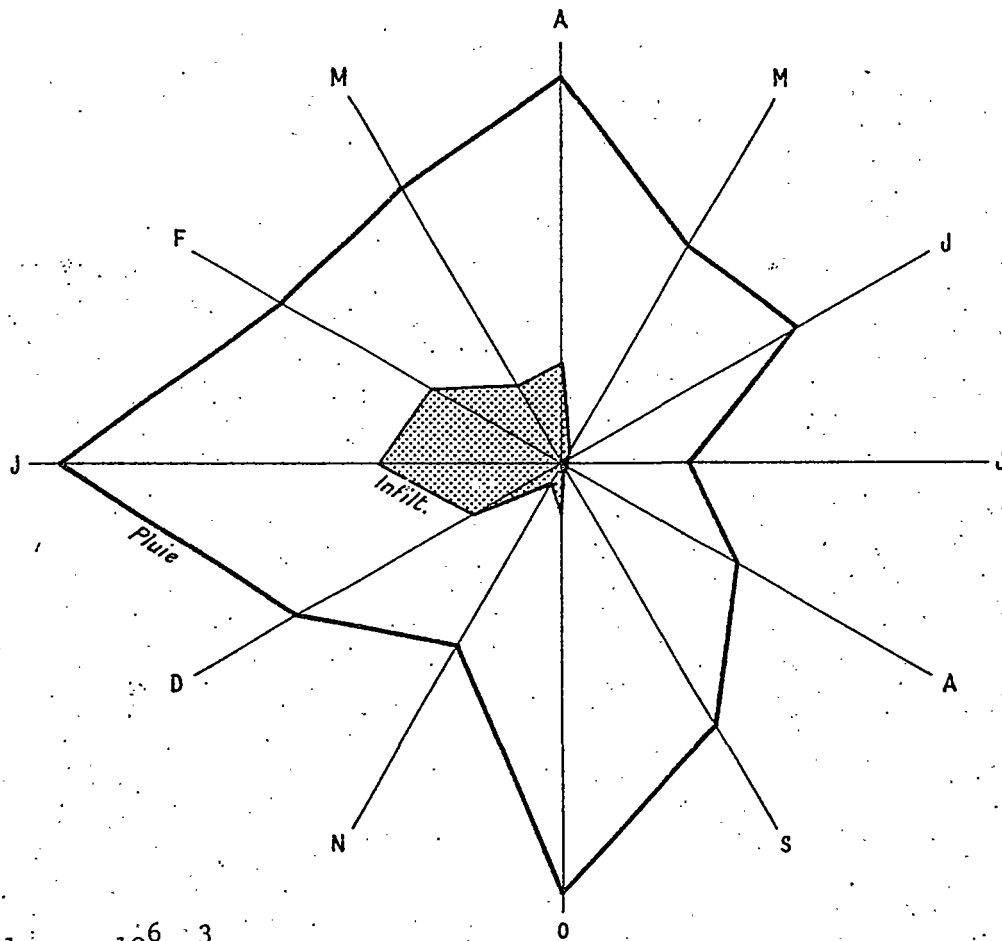


Figure 9

COMPARAISON INFILTRATION (MERO) - PLUIE SUR LE BASSIN VERSANT DU VISTRE

VALEURS MENSUELLES MOYENNES CALCULEES SUR 4 ANS (1969 à 1972)



Les années hydrologiques 1970/71 et 1971/72 particulièrement humides, déséquilibrent le bilan alimentation-débit en fonction d'une augmentation des réserves.

5.4.3 - Comparaison infiltration-pluie

Une comparaison sur la période 1969/1972 entre les valeurs mensuelles moyennes de l'infiltration GW calculées par le modèle MERO et les précipitations moyennes mensuelles sur le bassin versant du Vistre est présentée sur la figure 10 et dans le tableau suivant :

1969/1972		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Infiltration GW	en mm	49,6	40,9	25,4	27	2,5	-	-	-	0,65	13,75	5,4	27,9
	10 ⁶ m ³ /an	24,2	20,0	12,4	13,2	1,2	-	-	-	0,3	6,7	2,6	13,6
Pluie	en mm	134,9	86,1	86,5	104	66,9	70,8	32,9	53,9	81,5	117,1	55,7	82,1
	10 ⁶ m ³ /an	66,1	42,2	42,4	51,0	32,8	34,7	16,1	26,4	39,9	57,4	27,3	40,2
Infiltration/pluie en %		36,6	47,4	29,2	25,8	3,6	-	-	-	0,7	11,6	9,5	33,8

5.5 - CONCLUSION

Le modèle hydrologique MERO qui est un modèle global de bassin réalise le bilan pluie-infiltration-ruissellement-évapotranspiration et permet de calculer en particulier l'infiltration vers l'aquifère.

Il rend compte de façon satisfaisante de l'évolution des réserves en eau souterraine du bassin versant du Vistre.

DONNEES CONCERNANT L'IRRIGATION DU 01/11/1972 au 31/10/1973 A PARTIR DU RESEAU CNABRL

(1)*	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		(7)	(8)		(9) **	(10)	
					Pertes			Surface totale du sous secteur en ha.	Surface du sous-secteur dans le bassin versant du Vistre			
					(5) - (4) en m ³	(4) en %			en ha			en %
B	LA DEMOISELLE	B1	4 633 304	12 978 100	2 313 602	24,8	2 682	2 418	90,1	5,55	230	
		B2	1 893 530				1 446	0	0	-	-	
		B3	3 154 858				2 092	1 092	52,1	2,20	201	
		B4	82 806				874	874	100	0,11	12,5	
			9 764 498					7 094	4 384	-	7,86	183
C	AMARINE II	C1	1 032 269	3 723 620	859 119	23,1	1 520	0	0	-	-	
		C2	1 832 232				2 744	2 498	91	2,17	87	
			2 864 501					4 264	2 498	-	2,17	87
D	SAELLES	D1	2 904 162	6 895 760	347 445	5,05	2 734	0	0	-	-	
		D2	1 544 361				828	0	0	-	-	
		D3	1 162 365				632	474	63,2	0,775	193	
		D4	937 327				3 084	3 030	98,2	0,97	32	
			6 548 215					7 278	3 504	-	1,745	95
F	LA BOISSIERE	F1	2 784 682	3 170 160	279 096	8,8	4 020	2 410	59,9	1,82	76	
		F2	107 382				372	372	100	0,12	32	
			2 892 064					4 392	2 782	-	1,94	72
G	AMARINE I	G1	659 328	7 179 480	2 479 383	34,5	996	996	100	1,02	102	
		G2	408 858				760	760	100	0,625	82,5	
		G3	488 184				790	790	100	0,745	94	
		G4	624 694				1 660	1 660	100	0,95	57	
		G5	992 239				1 140	1 140	100	1,52	134	
		G6	568 597				1 390	1 390	100	0,86	62	
		G7	958 197				1 576	1 576	100	1,46	93	
			4 700 097					8 312	8 312	-	7,18	86
Ensemble des secteurs				33 947 120			31 340	21 480		20,9	97,5	

* (1) à (7) : renseignements communiqués par la CNABRL.

** Les pertes qui représentent la différence entre les volumes enregistrés aux stations de pompage et la somme des valeurs facturées par secteurs ont été réparties uniformément sur les différents sous-secteurs d'un même secteur.

6 - GESTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES

EN COSTIERE - VISTRENQUE

6.1 - IRRIGATION PAR LE RESEAU CNABRL

D'une manière générale, les réseaux d'irrigation de la CNABRL sont organisés en casiers couvrant chacun une superficie de l'ordre de 30 000 à 40 000 hectares subdivisés eux-mêmes en secteurs dont la superficie varie généralement entre 2 000 et 6 000 hectares.

L'irrigation de chaque secteur est assurée par une station de pompage, elle-même alimentée par un canal principal primaire ou secondaire. Chaque station est associée à un réservoir d'équilibre qui assure la régulation de pression voulue dans le réseau. La cuve de ce réservoir a une capacité limitée, de l'ordre de 500 à 800 m³ : elle ne joue pas un rôle de réservoir d'accumulation. Le fonctionnement des réseaux et des stations est entièrement automatique et contrôlé à distance à la station de Pichegu, à mi-distance entre St Gilles et Bellegarde.

La zone étudiée est située dans le casier n° 1 et comprend cinq stations de pompage qui prélèvent l'eau dans le canal primaire des Costières.

Les données concernant l'irrigation à partir du réseau CNABRL, du 1/11/72 au 31/10/73, c'est-à-dire sur un cycle annuel, sont rassemblées dans le tableau ci-contre.

Le volume apporté par le réseau CNABRL sur la Vistrenque et la partie de la Costière située à l'intérieur du bassin versant du Vistre, est de l'ordre de 21 millions de m³ en 1973.

La surface des 15 sous-secteurs irrigués est de l'ordre de 215 km².

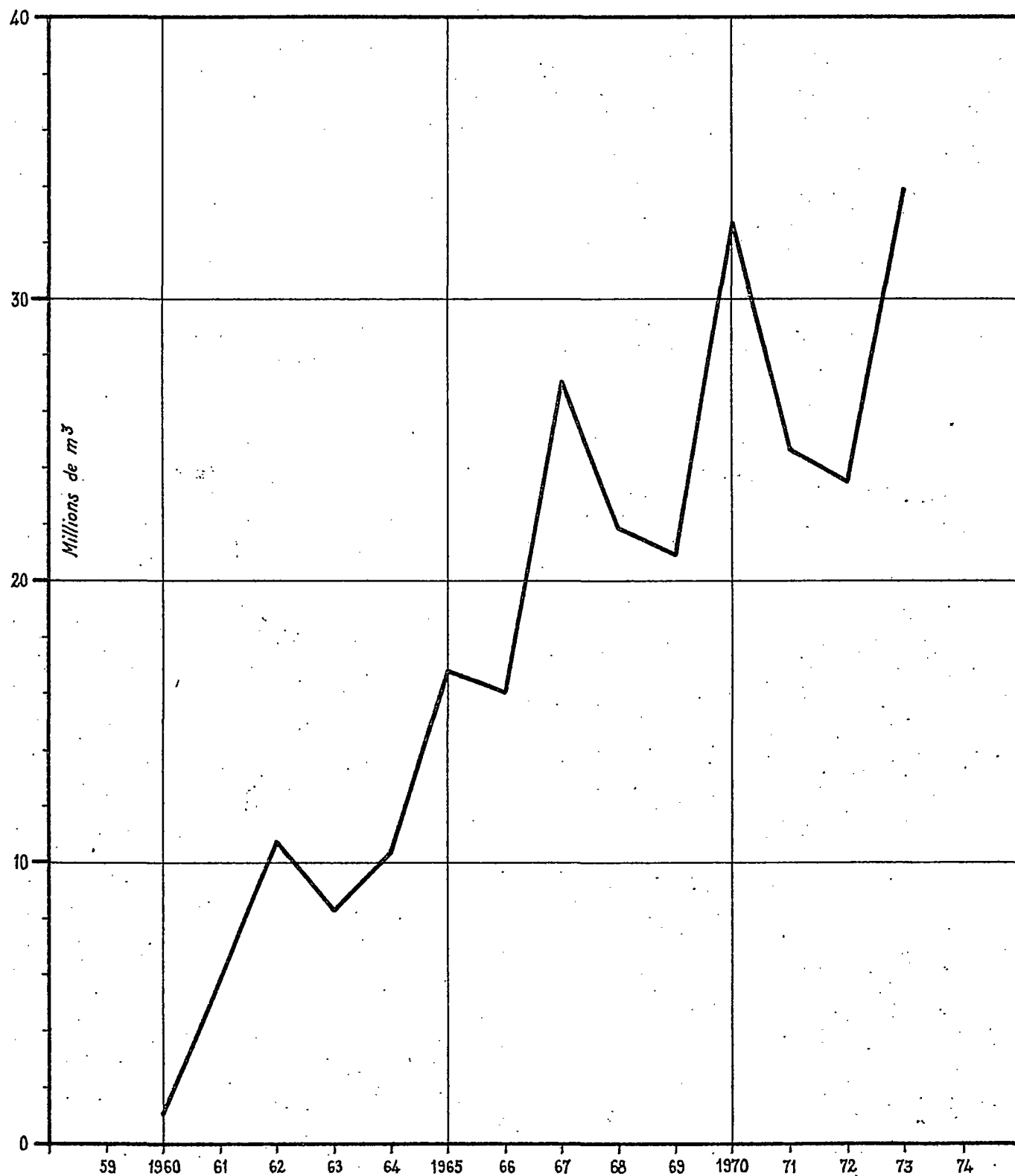
La lame d'eau moyenne équivalente est de 97,5 mm/an. On peut comparer cette valeur aux précipitations de 1973 qui sont comprises entre 660 mm au Mas de Ponge et 872 mm à Générac *.

La synthèse des informations concernant l'irrigation en 1973 est présentée sur la carte à 1/100 000 de l'annexe 1.

Les sous-secteurs les plus irrigués où la lame d'eau est de l'ordre de 200 mm par an, sont situés sur la Costière, en particulier dans la zone située

* Courbessac : 714 mm	Couvin : 825 mm	Garons : 754 mm
La Plantade : 740 mm	Asport : 800 mm	

VOLUMES ANNUELS PRELEVES DANS LE RESEAU CNABRL
POUR L'IRRIGATION DU CASIER N° 1



au sud de la flexure de Vauvert où les ressources en eaux souterraines sont faibles par suite de la position perchée de l'aquifère et de sa mauvaise transmissivité.

La répartition dans le temps des doses d'irrigation mensuelles moyennes et maximales exprimées en % et calculées sur une période de 12 ans (1961/1972) sont les suivantes :

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1972	Moyenne mensuelle	2,3	1,9	2,3	4,6	10,3	15,2	24,6	19,5	9,0	4,4	2,7	3,2
1961	Maximum mensuel	4,8	5,2	5,3	8,4	18,7	30,8	33	26,2	14,5	11,6	7,2	7,9

Près de 60 % en moyenne du volume d'eau nécessaire à l'irrigation sont apportés sur une période de 3 mois — juin à août — et près de 80 % sur une période de 5 mois — mai à septembre —.

Le graphique de la figure 11 montre l'évolution des volumes d'eau prélevés dans le réseau CNABRL pour l'irrigation de l'ensemble du casier n° 1, de 1960 à 1973.

L'augmentation générale correspond à la mise en place progressive du réseau d'irrigation. Les pics des années 1967, 1970 et 1973 correspondent à des années relativement sèches.

6.2 -- ALIMENTATION EN EAU DE LA VILLE DE NIMES

Depuis un siècle environ, différents ouvrages de captage ont été réalisés sur la terrasse alluviale de Comps, en bordure du Rhône. L'eau est transportée jusqu'à Nîmes par deux canalisations de 25 km environ de longueur (cf. carte à 1/100 000 de l'annexe D), l'une de Ø 900 mm, ancienne, en tuyaux BONNA qui permet de transporter 40 000 m³/jour au maximum, de façon gravitaire depuis la cheminée d'équilibre de la Roche de Comps, l'autre de Ø 800 mm en fonte et en éternit.

Pour assurer la continuité de la distribution d'eau de Nîmes, même en cas de réparation de la conduite ancienne, une station d'accélération construite en 1970 à Marguerittes peut être mise en service à tout moment et transporter 60 000 m³/jour.

En outre, il a été décidé en 1973, de construire au sud-ouest de Nîmes, une station de traitement de l'eau du Rhône par le réseau CNABRL (cf. carte à 1/100 000 de l'annexe 1). Cette station actuellement en service, est capable de traiter 20 000 m³ d'eau par jour pour la ville de Nîmes et accessoirement pour quelques agglomérations de la Garrigue nîmoise.

Cependant, l'autorisation d'utiliser l'eau du Rhône n'a, semble-t-il été donnée qu'à titre provisoire, en attendant la mise en oeuvre des moyens nécessaires pour l'exploitation des eaux souterraines de l'un ou l'autre des aquifères * de la région nîmoise dont l'étude est en cours.

Les débits journaliers moyens, Q_m, et maximaux, Q_{max}, de la station de Comps ont été calculés pour l'année 1973 à partir des relevés journaliers de la SODEN :

	Q _m en m ³ /jour	Q _{max} en m ³ /jour
Janvier	54 719	67 500
Février	55 578	67 200
Mars	55 810	66 700
Avril	55 920	65 700
Mai	60 016	67 900
Juin	58 147	64 500
Juillet	59 500	68 200
Août	58 480	64 400
Septembre	57 577	72 200
Octobre	56 900	66 000
Novembre	56 500	66 500
Décembre	55 777	66 700
Année	57 112	

On rappellera dans le tableau ci-après, les informations essentielles concernant la productivité de la station de Comps en 1964 et en 1973 :

* Cf. rapport BRGM 74 SGN 180 LRO, du 15 mai 1974, intitulé : Alimentation en eau de Nîmes - Ressources en eaux souterraines.

Année	Nombre d'habitants	Volume d'eau annuel en 10 ⁶ m ³	Débit journalier		Consommation en litre par jour et par habitant	
			moyen en m ³ /jour	maximal en m ³ /jour	moyenne	maximale
1964	115 000	17,5	48 000	64 000	420	560
1973	≠ 140 000	20,8	57 112	72 200	408	515

La consommation effective de la ville de Nîmes est nettement inférieure à la production de la station de Comps. Elle aurait été en particulier de $10,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 1964, les pertes des réseaux d'adduction et de distribution étant évaluées respectivement à $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ et $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Les besoins futurs en eau de la ville de Nîmes vers 1990/2000, en période de pointe pourraient être compris entre 100 000 et 150 000 m³/jour, incluses les pertes des réseaux d'adduction et de distribution.

D'après les Services techniques de la ville de Nîmes*, la station d'épuration traite environ 50 % des effluents, soit un volume qui pourrait représenter le tiers de la production de Comps.

La partie non traitée des eaux usées (≠ 50 %) transite par les cadereaux qui traversent la ville de Nîmes. L'ensemble des eaux usées, traitées ou non, rejoint le Vistre au sud de la ville et contribue à son alimentation pour un débit journalier moyen qui pourrait atteindre les 2/3 de 57 112 m³/jour, soit 38 000 m³/jour ou 0,44 m³/s, si l'on admet les estimations précédentes proposées par les Services techniques de la ville de Nîmes**

6.3 - EXPLOITATION ACTUELLE DE LA VISTRENQUE

6.3.1 - Alimentation en eau potable

Une enquête a été effectuée auprès des communes ou des sociétés de distribution d'eau qui a permis d'évaluer les volumes d'eaux souterraines prélevés pour couvrir les besoins en eau des communes de la Costière-Vistrenque.

* Renseignements communiqués en 1974.

** Une partie de ce débit pourrait éventuellement être recyclé par pompage dans l'aquifère à une distance suffisante, de l'ordre ou supérieure à 50-100 m, pour obtenir une eau de qualité acceptable, au moins au point de vue bactériologique.

Les renseignements souvent incomplets et d'inégales valeurs sont rassemblés dans le tableau ci-contre.

23 communes, dont quelques unes sont groupées en syndicat, sont alimentées par une vingtaine d'ouvrages de captage situés à une distance de celles-ci de l'ordre, ou le plus souvent inférieure à 5 km.

Les indices de classement BRGM de ces ouvrages figurent sur la carte à 1/100 000 de l'annexe 8.

La synthèse des renseignements concernant les volumes d'eau prélevés en 1973 est présentée sur la carte à la même échelle de l'annexe 1 qui permet d'observer en particulier, la distribution dans la Vistrenque, des ouvrages de captage exploités pour l'alimentation en eau potable.

Les valeurs médianes des consommations journalières en eau pour l'ensemble des communes alimentées par les eaux souterraines de la Costière-Vistrenque et figurant dans le tableau ci-contre sont les suivantes :

- en période normale : 220 litres par jour et par habitant ;
- en période "de pointe" : 330 litres par jour et par habitant ;
- en moyenne { débit pompé : 250 litres par jour et par habitant,
 { débit facturé : 90 litres par jour et par habitant.

On peut admettre que la consommation se répartit schématiquement de la manière suivante :

- pendant 8 mois : 220 litres/jour/habitant
- pendant 4 mois (15 mai/15 septembre environ) : 330 litres/jour/habitant

Les moyennes annuelles résultant de cette répartition seraient de 257 litres/jour/habitant, soit une valeur cohérente avec la valeur de la médiane calculée ci-dessus (250 l/j/h).

Le rapport entre volume pompé et volume facturé aux abonnés est élevé : 2,8.

Les chiffres qui figurent dans le tableau ci-contre sont relatifs en général à l'année 1973 et plus rarement aux années 1970 à 1972, lorsque des renseignements plus récents n'étaient pas disponibles.

En majorant de 10 % la valeur de la médiane évaluée ci-dessus, soit 250 l/j/h, compte tenu de l'accroissement des besoins en eau, la consommation en eau annuelle par habitant s'élèverait à 100 m³, soit en moyenne 275 l/jour. Cette dernière valeur a été retenue pour évaluer un ordre de grandeur acceptable de la consommation théorique annuelle des communes de la Costière-Vistrenque qui figure

TABLEAU DES PRELEVEMENTS DANS LA VISTRENQUE POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Commune ou syndicat	Indice de classement du captage et gérant	Population en 1968	Population en 1975	Consommation en période normale		Consommation en période de pointe		Consommation moyenne en l/jour/habitant		Consommation moyenne en m ³ /an		Consommation théorique exprimée en 10 ⁶ m ³ /an (1)
				en m ³ /j	en l/j/h	en m ³ /j	en l/j/h	Volume pompé	Volume facturé	Volume pompé	Volume facturé	
VAUVERT	991/4/39	6 300	7 472	-	-	1 800	240	140	79	380 000 (1970)	215 000 (1970)	0,75
Syndicat du plateau de GARONS : GARONS + BOUILLARGUES	965/6/91 syndicat	1 300 1 900 3 200	2 047 2 852 4 899	485 (Vist.) 440 (CNABRL)	> 190	-	-	190	-	66 670 (Vist.) 60 182 (CNABRL)	-	0,49 dont 0,2 environ du réseau CNABRL
Syndicat du Moyen Rhony : VERGEZE + CODOGNAN + MUS	991/3/353 S.D.E.I.	1 500 900 400 2 800	2 254 1 052 450 3 756	580	175	1 200	360	230	-	279 540 (73 : VERGEZE et CODOGNAN)	-	0,38
MARGUERITTES et POULX	965/2/52 S.A.U.R.	2 600 200 2 800	3 198 382 3 580	960 140 1100(2)	310	-	-	-	-	-	-	0,36
MANDUEL	965/6/126 965/6/137 (commune)	1 600	2 389	-	-	-	-	-	63	-	55 000 (1973)	0,24
MILHAUD	904/8/18 S.D.E.I.	1 200	2 225	480	215	770	350	245	-	199 454	-	0,22
CAISSARGUES	965/5/18	800	2 131	-	-	-	-	-	80	-	61 724 (1973)	0,21
RODILHAN	965/6/95 S.A.D.E.	1 200	1 975	-	-	à 640 à 720	à 325 à 365	-	90	-	64 359 (1973)	0,20
UCHAUD	965/8/44	900	1 905	-	-	840	440	-	53	-	36 250 (1973)	0,19
GENERAC	992/1/18 C.G.E.	1 700	1 760	-	-	-	-	-	102	-	65 000 (1971)	0,18
REDESSAN	965/3/143 S.A.D.E.	1 300	1 601	-	-	-	-	-	71,5	-	41 943 (1972)	0,16
BEAUVOISIN	991/4/3	1 600	1 502	-	-	360	240	-	87	-	47 781 (1972)	0,15
BERNIS	964/8/25 S.D.E.I.	800	1 478	180	122	290	200	-	94	-	50 615 (1973)	0,15
SERNHAC	965/3/133 S.O.C.E.A.	900	875	-	-	225	260	290	130	91 378 (1972)	41 620 (1972)	0,09
BEZOUCE	965/2/61 S.A.D.E.	700	721	-	-	à 200 à 230	à 280 à 320	350	-	91 251	-	0,07
St GERVASY	965/2/35	500	571	125	220	250	440	-	-	-	-	0,06
VESTRIC	964/8/34	300	510	125	245	210	410	-	80	-	12 000 (1970)	0,05
LEDENON	965/3/54	400	487	à 112 à 140	à 230 à 285(3)	à 160 à 200	à 330 à 410	-	118	-	21 000 (1973)	0,05
AUBORD	964/8/4	200	483	-	-	-	-	-	102	-	18 000 (1973)	0,05

(1) Sur la base de 100 m³/habitant/an, soit 275 l/habitant/jour.

(2) Le 22/10/1974

(3) En Avril 1974

(4) Du 21/01/1974 au 04/06/1974

dans la dernière colonne du tableau précédent.

Dans ces conditions, le volume global nécessaire pour couvrir les besoins en eau de l'ensemble des communes, à l'exception de Nîmes, serait en première approximation et actuellement de 4 millions de m³/an pour une population totale de 40 320 habitants, d'après le recensement de 1975. Ce volume représente le quart du volume d'eau annuel consommé par la ville de Nîmes.

Remarques :

1/- Bouillargues est alimenté en partie par le réseau de la CNABRL, 440 m³/jour au cours du premier semestre 1974, soit environ 0,2 millions de m³/an. Certaines petites agglomérations rurales de la Garrigue nîmoise seraient également alimentées par l'eau du Rhône.

2/- La base aéronavale de Garons consomme en moyenne 1000 m³ d'eau par jour, soit 0,35 millions de m³/an, qu'elle prélève dans un forage situé à proximité du captage communal de Caissargues pour couvrir l'ensemble de ses besoins en eau.

3/- Un certain nombre de forages alimentent :

. des collectivités, telles que le lycée agricole féminin du Mas Boulbon (forage n° 965-5-107, équipé d'un groupe moto-pompe de 8 CV) ;

. des magasins à grandes surfaces, par exemple les supermarchés ESCALE, CASINO, etc ...

. des mas isolés.

4/- La Société Perrier utilise le puits Romaine (991-4-280) pour la production d'eau gazeuse. Cet ouvrage de captage fournit un débit de 640 m³/jour, soit environ 0,2 millions de m³/an.

* Production de la Société Perrier en 1961 : 181 900 000 litres d'eau gazeuse.

6.3.2 - Prélèvements d'eaux souterraines pour les industries

Les principaux points de prélèvements d'eau industrielle sont en nombre limité dans la Vistrenque où l'industrialisation est relativement peu développée (cf. carte à 1/100 000 de l'annexe 1). Ils sont localisés à l'extrémité aval de la Vistrenque (usines Perrier) et au sud de St Cézaire (Conserves-Gard et marché-gare). Depuis 1974, la coopérative agricole de Camaret exploite également 2 ouvrages de captage à mi-distance entre Meynes et Bezouce.

La Société Perrier dispose de 3 ouvrages de captage pour couvrir les besoins en eau industrielle qui sont, globalement, de l'ordre de 1,5 million de m³ par an ; les débits prélevés dans chaque ouvrage de captage sont les suivants :

Indice de classement	Débit d'exploitation en m ³ /h	Débit journalier en m ³	Débit annuel en m ³
991/4/38	124	800	250 000
991/4/298	110	2 200	650 000
991/4/299	80	1 900	600 000

L'usine "Conserves-Gard" consomme en "période normale" 300 à 500 m³/jour et 6 000 à 6 600 m³/jour pendant une durée de l'ordre de 4 mois (juin à octobre) soit environ 800 000 m³/an.

Les ouvrages de captage sont situés à proximité immédiate de l'autoroute au sud de St Cézaire.

La société nîmoise d'aménagements communaux exploite deux ouvrages de captage pour l'alimentation en eau du marché-gare de St Cézaire. La productivité potentielle du dispositif de captage serait de 150 m³/h et le volume d'eau prélevé par jour est de l'ordre de 2 000 à 2 500 m³, soit encore 600 000 m³/an environ.

L'atelier de fabrication de Ledenon de la coopérative agricole de Camaret prélève dans 2 puits un débit de 100 à 200 m³/h en août, septembre et octobre, pendant 16 heures par jour environ ; le volume d'eau annuel correspondant atteindrait 200 000 m³ environ.

D'autres ouvrages de captage d'eaux souterraines, moins importants, sont utilisés par la SNCF en 3 points - dépôt de machines, ateliers de wagons et gare marchandises - et par des petites entreprises dont les besoins n'excèdent pas quelques m³/h.

6.3.3 - Prélèvements d'eaux souterraines pour l'irrigation

Le décret n° 73-219 du 23 février 1973 portant application des articles 40 et 57 de la loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre la pollution prévoit à l'article 1er : "toute installation comprenant un ou plusieurs ouvrages permettant de prélever des eaux souterraines à des fins non domestiques doit faire l'objet d'une déclaration si sa capacité maximale de prélèvement est supérieure à 8 m³/h".

L'application effective de ce décret devrait permettre dans le futur, d'obtenir des informations précises sur les prélèvements d'eaux souterraines utilisées en particulier pour l'irrigation.

Provisoirement, eu égard au très grand nombre d'ouvrages de captage implantés dans le réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque, de l'ordre de 1 000, on se contentera d'une approche globale de l'évaluation des volumes d'eaux souterraines prélevés pour l'irrigation. On a procédé de la manière suivante :

- D'après les informations que nous avons recueillies auprès des communes situées sur la partie du bassin versant du Vistre appartenant au casier n° 1, on peut admettre que l'occupation moyenne des sols serait :

- . terres : incluant terres labourables, terres légumières, prairies et herbages, vergers, jardins et cultures maraichères : 50 %
- . vignes : 42 %
- . autres surfaces cultivées groupant landes et friches, bois et forêts, terres non agricoles : 8 %

- En nous référant à l'année 1970, comparable à l'année 1973, au point de vue climatologie et pour laquelle la CNABRL nous a communiqué les renseignements concernant les volumes d'eau moyens apportés aux terres et à la vigne, on admettra que les doses moyennes annuelles d'irrigation ont été en 1973 de :

- . 2 475 mm pour les terres
- . 860 mm pour la vigne.

- Par ailleurs, d'après M. DESARNAUD - CNABRL - 20 à 30 % de la surface cultivée incluant terres et vignes, ne serait pas irriguée.

- D'après les données précédentes, le volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, en 1973, aurait été compris entre 24,2 et 27,6 millions de m³.

- En retenant l'évaluation "basse" précédente, soit 24,2 x 10⁶ m³, corres-

pondant à 30 % de la surface non irriguée, le volume des prélèvements d'eaux souterraines, en 1973, aurait été de $3,3 \times 10^6 \text{ m}^3$, les apports des réseaux CNABRL ayant été de $20,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ au cours de la même année (cf. § 6.1).

M. DESARNAUD nous a indiqué par ailleurs que les prélèvements d'eaux souterraines nécessaires à l'irrigation représentaient environ 15 % des volumes d'eau apportés par la CNABRL, soit pour 1973, environ $3,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ que l'on peut comparer à l'évaluation précédente - $3,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ -.

Nous proposons de retenir cette dernière valeur qui devrait représenter un ordre de grandeur acceptable du volume d'eau global prélevé en 1973 pour l'irrigation, dans le réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque.

Le régime des prélèvements d'eaux souterraines pour l'irrigation peut se comparer au régime connu des apports du réseau CNABRL. En particulier, le volume d'eau mensuel maximum représente 24,5 % en moyenne du volume d'eau annuel, soit $0,81 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mois}$ ou $26\ 000 \text{ m}^3/\text{jour}$ ou $1\ 080 \text{ m}^3/\text{h}$ -débit fictif permanent-.

Le débit d'équipement correspondant, évalué sur la base de 8 heures de fonctionnement par jour des pompes, 5 jours par semaine, est de $4\ 550 \text{ m}^3/\text{h}$.

En excluant les sous-secteurs B1, B3 et D3, entièrement irrigués en première approximation par l'eau du Rhône, la surface de l'aquifère où sont implantés les captages d'eaux souterraines est de 175 km^2 .

Le débit prélevé pour l'irrigation dans l'aquifère serait ainsi de $26 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ en période de pointe et pour une année déficitaire, au point de vue pluviométrique.

Le débit précédent pourrait être fourni par 91 puits ou forages équipés d'un groupe de pompage de $50 \text{ m}^3/\text{h}$, soit une station pour environ 200 hectares.

Compte tenu des observations effectuées sur le terrain, les estimations précédentes des prélèvements dans l'aquifère représentent des ordres de grandeur acceptables.

On peut citer à titre d'exemple, quelques ouvrages de captage utilisés pour l'irrigation :

- 965-5-95	: Mas de Galaffre	Q =	100 m^3/h
- 965-6-16	: Mas Polvelière	Q =	70 m^3/h
- 991-4-97	: Mas Ravier	Q =	50 m^3/h
- 991-4-288	: à proximité de Vauvert	Q =	50 m^3/h

- une dizaine de puits, dans le secteur des Mas de Pazac, de Gleize et des Fleurs (965-3-33, 36, 47, 48, 50 à 53, 168 et 169) sont équipés de groupes électro-pompes de 4 à 8 CV, et sont utilisés en particulier par la société Vilmorin ; leur débit d'exploitation varie entre 50 et 100 m³/h ; on peut estimer à 300 000 m³/an le volume d'eau prélevée dans ce groupe de puits.

On a réparti par secteur, sur la carte à 1/100 000 de l'annexe 1, le volume d'eaux souterraines prélevées en 1973 pour l'irrigation. On a admis comme indiqué précédemment que les sous-secteurs B1, B3 et D3 étaient entièrement irrigués par l'eau du Rhône ; les ressources en eaux souterraines y sont quasiment nulles et la lame d'eau apportée par le réseau CNABRL est de l'ordre ou supérieure à 200 mm.

On a tenu compte par ailleurs des surfaces élémentaires des secteurs et du fait que le réseau CNABRL n'équipait que les 2/3 de la surface du sous-secteur D IV.

Dans ces conditions, la répartition du volume global, soit 3,3 x 10⁶ m³/an par secteur ou sous-secteur est la suivante :

G	=	1,33	} millions de m ³ /an
D IV	=	0,985	
F	=	0,445	
C II	=	0,400	
B IV	=	0,140	

La variabilité des prélèvements d'eau pour l'irrigation, entre année sèche et année humide, est de l'ordre de 1,5. Les estimations précédentes concernent 1973, qui représente une année sèche.

Avant d'aborder le problème de la qualité des eaux souterraines et de l'eau du Rhône, on peut résumer succinctement l'essentiel des informations concernant l'exploitation des eaux souterraines et l'utilisation de l'eau du Rhône, dans la région Costière-Vistrenque située à l'intérieur du bassin versant du Vistre.

- Eaux souterraines du réservoir aquifère de la Costière-Vistrenque

. Alimentation en eau des communes	4,4 x 10 ⁶ m ³ /an
. Eau industrielle	3,1 x 10 ⁶ m ³ /an
. Irrigation (1973)	3,3 x 10 ⁶ m ³ /an
TOTAL	10,8 x 10 ⁶ m ³ /an

- Eau du Rhône

. Irrigation (1973)	21 x 10 ⁶ m ³ /an
. Alimentation en eau de Nîmes	20 000 m ³ /jour

(En cas de rupture de la conduite d'adduction de Comps à Nîmes) :

. Alimentation partielle du Syndicat du plateau de Garons	0,2 x 10 ⁻⁶ m ³ /an
---	---

- Eaux souterraines de la nappe alluviale du Rhône - Station de Comps

. Alimentation en eau de Nîmes	20 x 10 ⁻⁶ m ³ /an
--------------------------------	--

6.4 - QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA COSTIERE VISTRENQUE

Au point de vue bactériologique, sous réserves que l'on prenne les précautions nécessaires lors de l'implantation des ouvrages de captage, l'eau est potable.

Les résultats de quelques analyses chimiques de l'eau de quelques captages communaux de la Vistrenque prélevée pour la Direction de l'action sanitaire et sociale, et effectuées par le Laboratoire municipal de Nîmes, sont présentés dans le tableau ci-contre.

Les résultats des mesures de résistivité et de dureté de l'eau prélevée dans quelques forages, au cours des pompages d'essai que nous avons effectués en décembre 1974 et janvier 1975, figurent également sur ce même tableau.

La résistivité de l'eau varie selon les points entre 1 050 et 2 000 ohm.cm à 20°. Elle est le plus souvent de l'ordre de 1 500 ohm.cm à 20°; c'est le cas par exemple du captage de la commune de Marguerittes.

Le titre hydrotimétrique varie entre 24 et 45° ; il est le plus souvent de l'ordre de 35° ; même si cette dernière valeur apparaît excessive, elle est du même ordre de grandeur que la dureté de la plupart des captages implantés dans les régions calcaires et en particulier dans le Languedoc.

L'étude hydrogéologique de la Costière Vistrenque programmée en 1974 et dont les résultats sont présentés dans ce rapport, ne comportait pas d'examen de la qualité des eaux souterraines dont nous n'avons présenté ci-dessus qu'un premier aperçu.

Il nous paraît nécessaire, si l'on envisage de développer l'exploitation de cet aquifère, d'établir une carte à 1/50 000 de la résistivité et de la dureté des eaux souterraines, en complément de la carte hydrogéologique de l'annexe 1. Cette carte de la qualité des eaux permettrait, en particulier, de distinguer les zones où la résistivité et la dureté de l'eau sont acceptables et les zones où au contraire, ces deux paramètres ont des valeurs excessives.

Pour établir ce document, il conviendrait de prélever, au cours d'une période de tarissement, 200 à 300 échantillons d'eau sur une surface de l'ordre de 200 km², soit une densité de 1 à 1,5 prélèvement par km². Il serait par ailleurs souhaitable de suivre l'évolution de la minéralisation dans le temps au cours d'une année hydrogéologique sur 20 à 40 points répartis sur l'ensemble de l'aquifère, la fréquence des mesures étant mensuelle.

7 - CONCLUSION

La première phase de l'étude hydrogéologique de la Vistrenque, en vue d'évaluer les ressources en eaux souterraines de cet aquifère et de définir les conditions optimales de son utilisation, a permis de rassembler les informations concernant :

- la géométrie du réservoir (délimitation, dimensions) ;
- la surface piéométrique de l'aquifère et ses variations dans le temps ;
- les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité et emmagasinement) ;
- les conditions aux limites, notamment les liaisons avec le Vistre et la Garrigue calcaire. Une indétermination demeure cependant sur le schéma hydrogéologique de la zone de piémont de la Garrigue qui pourrait être levée par un pompage d'essai de longue durée et de débit élevé $-600\text{ m}^3/\text{h}$ - sur le dispositif de captage de la commune de Marguerittes ;
- l'infiltration efficace et les variations des réserves en eaux souterraines déterminées par l'application du modèle MERO ;
- l'évaluation des débits prélevés dans le réservoir ou apportés de l'extérieur du système aquifère.

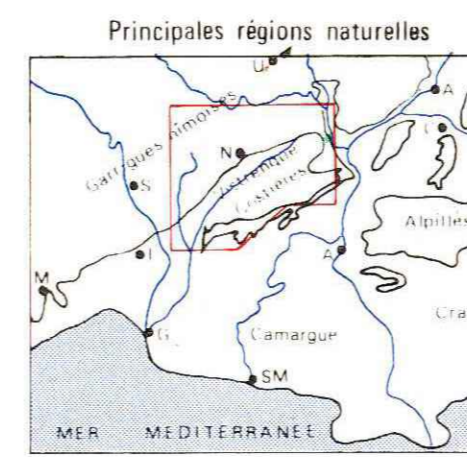
La synthèse de ces informations géologiques et hydrodynamiques est présentée sur la carte hydrogéologique à 1/50 000 de la Vistrenque.

L'établissement d'une carte hydrochimique à la même échelle permettrait en particulier de mettre en évidence les zones où la dureté de l'eau est acceptable et les zones où au contraire elle est excessive.

Le traitement des informations précédentes par un modèle mathématique permettrait de simuler le comportement de l'aquifère dans des conditions variables.

Ce modèle servirait à rechercher quels sont les effets de diverses hypothèses d'utilisation du réservoir et à vérifier leur compatibilité avec les conditions physiques aussi bien qu'avec les contraintes. Il constituerait en définitive un instrument de prévision et de gestion.

CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA VISTRENUQUE



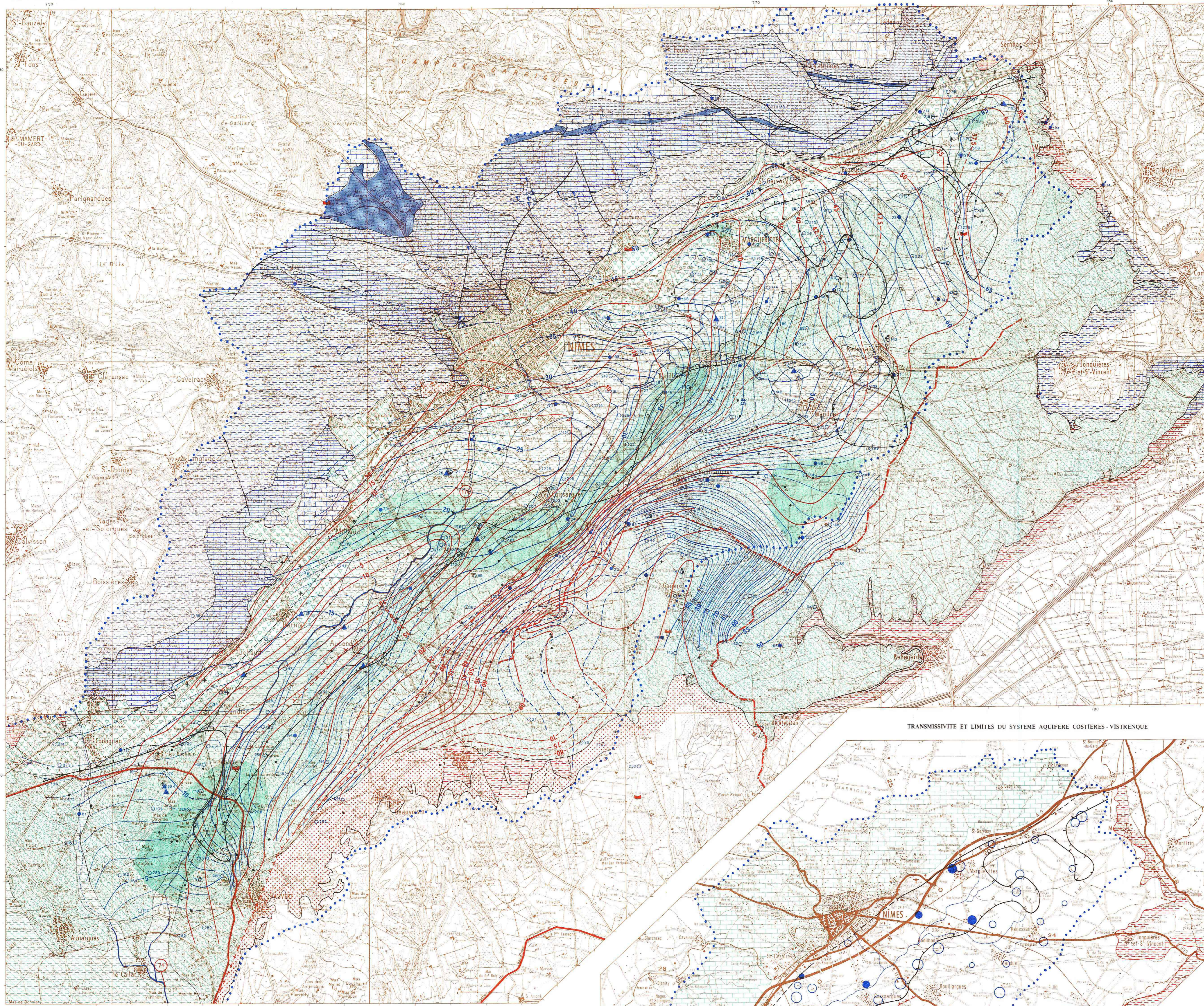
DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE DU GARD
1975

Carte dressée par F. BAYER et X. POUL

Service géologique régional Languedoc-Roussillon
du Bureau de recherches géologiques et minières

AVERTISSEMENT

Cette carte est le document principal du rapport BRGM n° 75 103 220 LRO, qui rassemble par ailleurs
en annexes successives à l'échelle d'un mille métrique de gestion de la Vistrenque.



AUTEURS CONSULTÉS

CHÉVIAN G. - 1949
Étude hydrogéologique de la Cote d'Azur et de la Vistrenque
CNRS - Nîmes.
CHOURAY J. - 1965
Description à l'échelle de la plaine de Vistrenque.
Thèse - Université de Montpellier.
PÉRISSAC M. et AMÉL M. - 1963
Inventaire des problèmes en eau et étude préliminaire du fait et
des causes.
Rapport géologique - Institut de géologie de Montpellier.
GAMET R. - 1964
Contribution à l'étude hydrogéologique de la Vistrenque.
Thèse - Université de Montpellier.
SÉDAD BACHEMI M.A. - 1964
Contribution à l'étude hydrogéologique de la région nîmoise.
Thèse - Université de Montpellier.

ARCHIVES CONSULTÉES

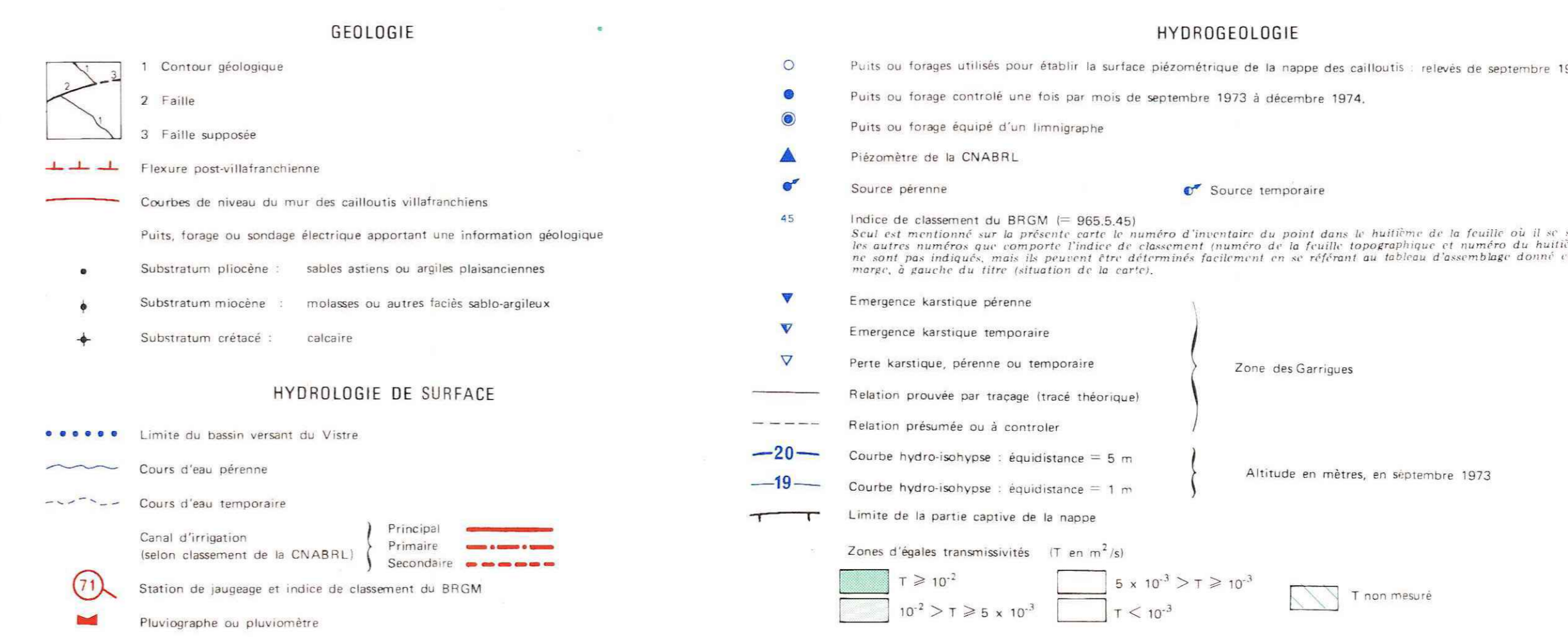
Service géologique régional Languedoc-Roussillon du Bureau de recherches géologiques
et minières, divers rapports au titre de Côte d'Azur (B.S.A.) et de l'évaluation des
ressources hydrologiques (E.R.H.).
Service régional d'aménagement des eaux - données hydrogéologiques.
Commissariat ministériel d'aménagement du Bas-Rhône Languedoc - données concernant la
climatologie, la pédoclimatologie et l'irrigation.
Général rural de Nîmes - étude géologique - plaine de Vistrenque - Vauvert -
C.P.P. - 1963.

CARTES CONSULTÉES

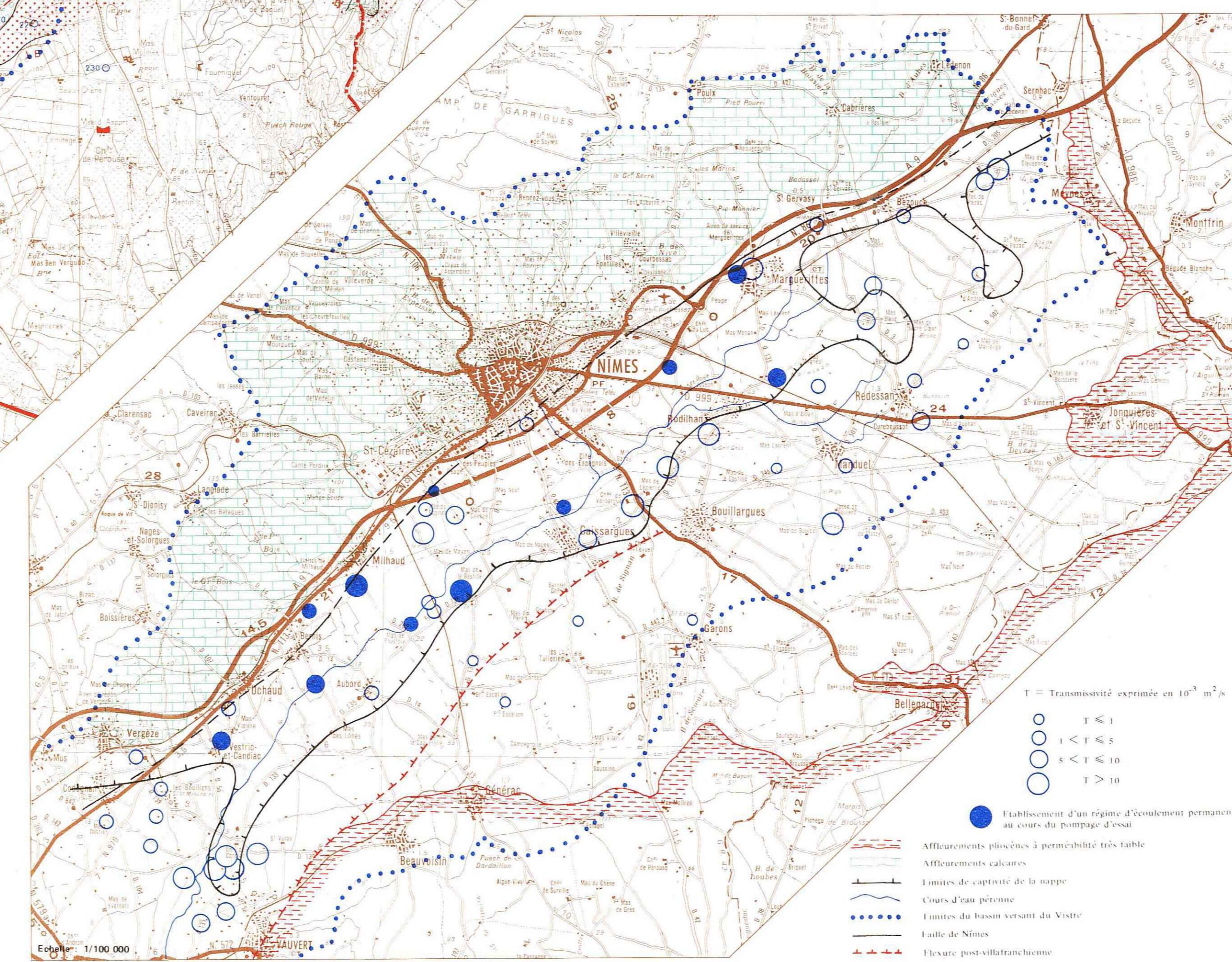
Carte géologique à 1:50 000
Feuilles de NÎMES, SOMMIÈRES, LUNEL, ARIÈS.
Carte des ressources utiles à 1:50 000
Feuille de NÎMES.
Ministre de la carte hydrogéologique de Nîmes, par M. PALLIC
(Maquette inédite établie en 1970) et au titre de l'évaluation
des ressources hydrologiques, sur le creux de
Montferrand de l'industrie et de la recherche.

CLASSÉMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS

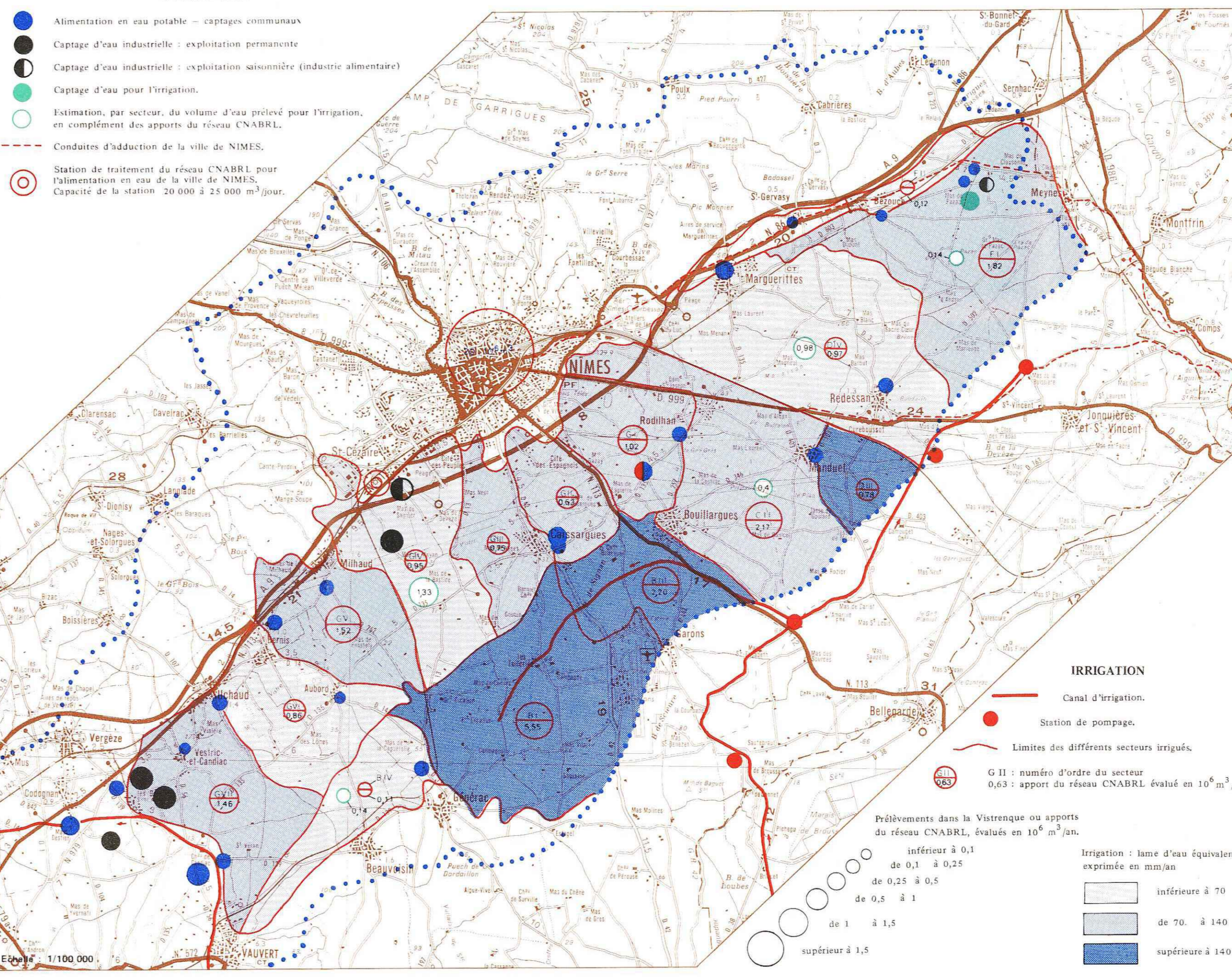
PERMEABILITÉ	LITHOLOGIE	AGE	CARACTÈRES HYDROGÉOLOGIQUES
bonne	Étroite imbrication de limons et de débris de calcaires craillés étagés en lentilles.	QUATERNAIRE	Complète des formations du pléistocène de la zone des Garrigues. Constituent le toit de la nappe des calcaires vistrenques.
bonne	Calcaires gris calcaires et accessoirement limons lenticulaires.	VILLAFRANCHIEN	Remplissage des dépressions des Costières et de la Vistrenque. La perméabilité des calcaires de la Vistrenque est comprise entre $0,3 \times 10^{-7}$ m/s et $0,2 \times 10^{-7}$ m/s. La nappe libre en général sur la Costière, devient captive sous les limons dans la partie nord de la Vistrenque.
bonne	Sables fins.	ASTIEN	Perméabilité faible (10^{-7} m/s).
bonne	Argiles.	PLAISANCIEN	Perméabilité très faible.
bonne	Grès molasses et marnes bleues sabineuses.	HELVIETIEN	Perméabilité variable, généralement faible. Constituent le substratum de la nappe des calcaires à l'extrême Nord-Est de la Vistrenque.
bonne	Calcaires blancs cristallins (facies argonien).	BARREMIEN supérieur	Ces niveaux karstifiés, séparés par des dolomies massives, sont situés dans les calcaires argoniens, barrois et cruasens, présents sur la bordure nord de la Vistrenque, ils peuvent, éventuellement, contribuer à son alimentation.
bonne	Marnes et bancs calcaires intercalés.	BARREMIEN inférieur	
bonne	Calcaires "barrois".	HAUTERIVIEN supérieur	
bonne	Calcaires argileux.	HAUTERIVIEN inférieur	
bonne	Calcaires "cruasens".		
bonne	Calcaires et calcaires massifs.		



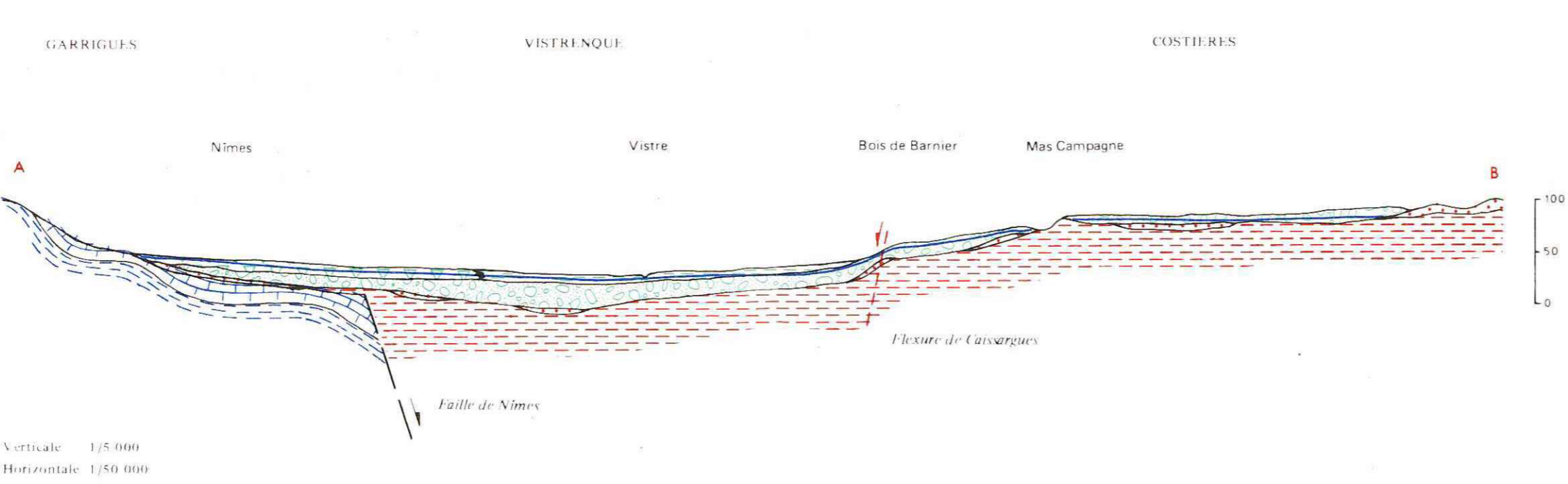
TRANSMISSIVITÉ ET LIMITES DU SYSTÈME AQUIFÈRE COSTIÈRES-VISTRENUQUE



EXPLOITATION



PROFIL GÉOLOGIQUE

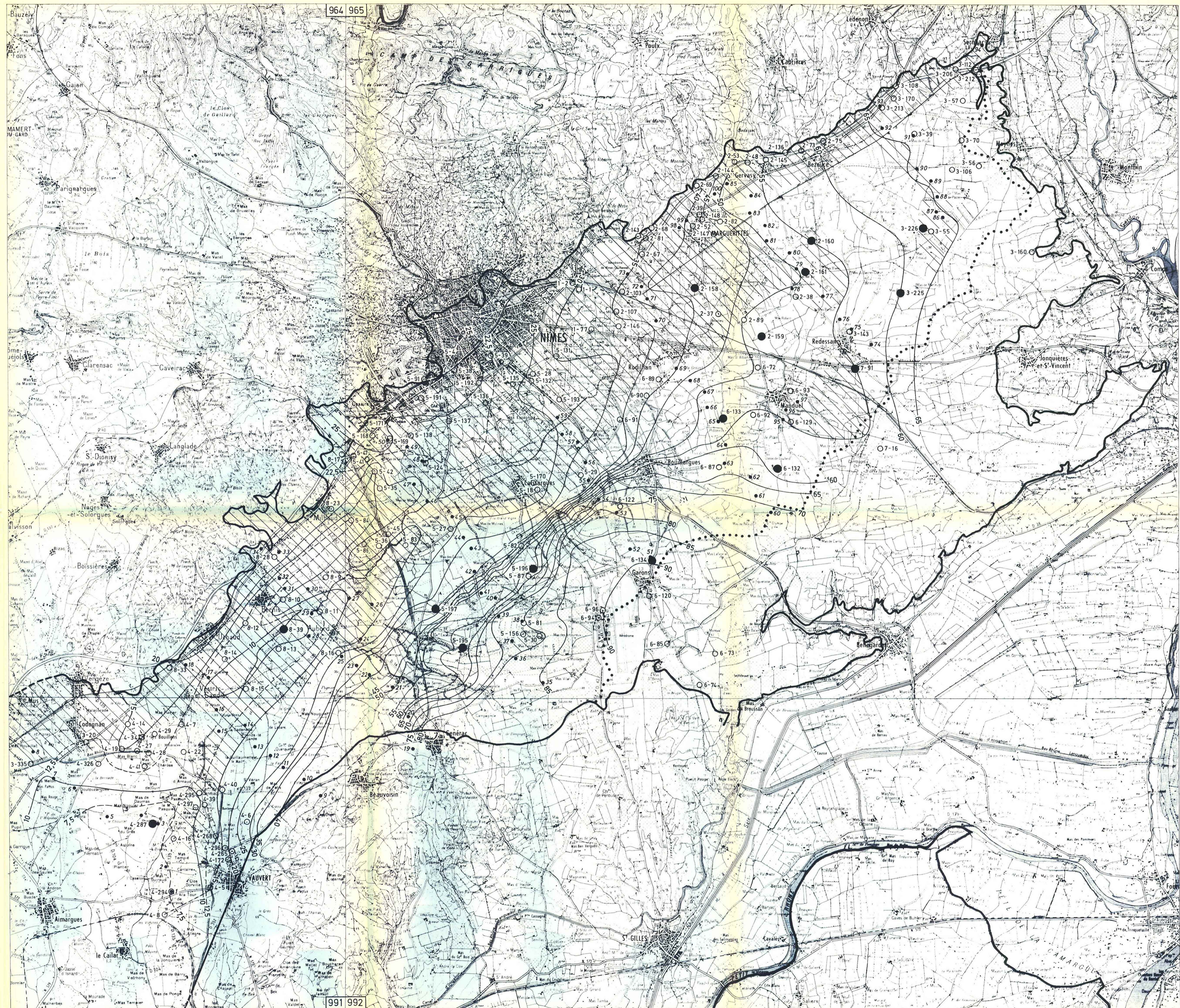


ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA COSTIERE - VISTRENQUE (Gard)

CARTE DES ISOHYPSES DU TOIT DES CAILLOUTIS

Echelle 1/50 000

- 4 SONDAGE ELECTRIQUE ET NUMERO D'ORDRE
- SONDAGE MECANIQUE REALISE DANS LE CADRE DE L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA COSTIERE-VISTRENQUE
- 4-8 SONDAGE MECANIQUE ARCHIVE AU BRGM
- 15— COURBE ISOHYPSE DU TOIT DES CAILLOUTIS ET COTE NMF



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA COSTIERE - VISTRENQUE

COUPES DE QUELQUES PUIIS ET SONDAGES ARCHIVES AU TITRE DU CODE MINIER
AYANT ATTEINT LE SUBSTRATUM IMPERMEABLE
DES CAILLOUTIS AQUIFERES DE LA COSTIERE -VISTRENQUE

n° 964-8-16

x : 759,28
y : 163,20
z : + 43,218 m

0 à 6,40 : gros galets et argile marron
6,40 à 11,70 : galets et sable
11,70 à 13,00 : argile jaune
13,00 à 15,00 : argile grise

n° 964-8-28

x : 757,30
y : 165,90
z : ~~#~~ + 26 m

0 à 0,60 : terre végétale
0,60 à 4,00 : terre argileuse et sables
4,00 à 6,20 : conglomérat
6,20 à 8,10 : argile
8,10 à 19,20 : sable
substratum marneux supposé au-delà de 19,20 m

n° 965-1-77

x : 766,40
y : 172,70
z : 37,50 m

0 à 1,60 : terre et limon brun
1,60 à 4,00 : limon du glacis de piémont
4,00 à 20,30 : cailloutis à galets siliceux
20,30 à 20,50 : marnes jaunes
20,50 à 22,50 : marnes bleues

n° 965-2-103

x : 767,24
y : 173,80
z : ~~#~~ 46 m

0 à 8,30 : formation de piémont
8,30 à 20,25 : cailloutis rhodaniens
20,25 à 24,00 : marne

n° 965-3-143

x : 773,95
y : 172,80
z : ~~#~~ 59 m

0 à 0,80 : terre
0,80 à 3,00 : poudingue

3,00 à 6,00 : graviers et sables serrés
6,00 à 6,90 : sables avec graviers peu nombreux
6,90 à 7,60 : graviers et argile
7,60 à 9,50 : argile jaune

n° 965-5-124

x : 761,65
y : 168,80
z : + 24,50 m

0 à 3,00 : terre végétale
3,00 à 12,00 : cailloutis et sables
12,00 à 16,00 : conglomérat très dur
16,00 à 18,00 : sables jaunes

n° 965-5-132

x : 764,48
y : 171,26
z : 30,70 m

0 à 7,00 : formation de piémont (Quaternaire)
7,00 à 18,30 : cailloutis à galets siliceux (Villafranchien)
18,30 à 27,70 : sables jaunes micacés (Astien)
27,70 à 28,50 : marnes bleues (Plaisancien)

n° 965-5-156

x : 764,61
y : 163,92
z : + 83,50 m

0 à 6,00 : sables bruns argileux rouges
6,00 à 11,00 : sables et graviers (Villafranchien)
11,00 à 13,00 : sables très fins blancs micacés (Astien)
13,00 à 14,00 : marnes bleues (Plaisancien)

n° 965-6-87

x : 770,22
y : 168,82
z : ~~#~~ + 64 m

0 à 5,50 : graviers serrés rouges
5,50 : 6,50 : sables et graviers
6,50 à 10,80 : sables argileux
marnes bleues au-dessous de 10,80 m

n° 965-6-89

x : 768,35
y : 171,32
z : ~~#~~ + 39 m

0 à 6,00 : graviers serrés, durs
6,00 à 12,00 : sables et graviers
12,00 à 13,50 : sables argileux jaunes
 marnes bleues au-dessous de 13,50 m

n° 965-6-90

x : 767,97
y : 170,82
z : ~~#~~ + 40 m

0 à 5,00 : gros graviers
5,00 à 8,00 : sables
8,00 à 17,00 : graviers
 marnes bleues au-dessous de 17,00 m

n° 965-6-91

x : 767,29
y : 170,18
z : ~~#~~ + 36 m

0 à 4,50 : gros graviers serrés
4,50 à 12,00 : graviers serrés
12,00 à 14,00 : sables et graviers
14,00 à 16,00 : argiles jaunes
 marnes bleues au-dessous de 16,00 m.

n° 965-6-92

x : 771,14
y : 170,39
z : ~~#~~ + 56 m

0 à 11,50 : cailloux et graviers
11,50 à 14,00 : argiles
 marnes bleues du Plaisancien au-dessous de 14 m

n° 965-6-93

x : 772,25
y : 171,08
z : ~~#~~ + 52 m

0 à 12,00 : sables et graviers
 marnes bleues du Plaisancien au-dessous de 12 m

n° 965-6-94

x : 766,70
y : 164,50
z : ~~#~~ + 91,60 m

0 à 14,00 : cailloutis plus ou moins cimentés
14,00 à 40,00 : argiles et sables jaunes
40,00 à 295,00 : marnes argileuses et argiles marneuses grises
295,00 à 347,00 : calcaires gréseux, marnes verdâtres, grès calcaires (Helvétien)

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA COSTIERE - VISTRENQUE

PRINCIPAUX RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LES SONDAGES

EFFECTUES PAR L'ENTREPRISE "SUD EST FORAGE"

en décembre 1974 et janvier 1975

Seront indiqués dans les fiches ci-après :

- L'indice de classement BRGM
- Les coordonnées Lambert x et y
- La cote du sol z à l'emplacement du sondage estimé d'après la carte à 1/20 000 (précision de l'ordre d'1 m).
- La date d'exécution du sondage
- La nature et l'âge des terrains traversés
- Une estimation de la productivité par mètre linéaire des terrains traversés (le tubage de travail étant situé à 1 m au-dessus de l'outil de foration) ; on utilisera les termes suivants pour caractériser le débit :

- . fort : débit de l'ordre ou supérieur à 5 m³/h
- . moyen : débit compris entre 1 et 5 m³/h
- . faible : débit de l'ordre de 1 m³/h
- . nul

- La profondeur de l'eau par rapport à la tête du tubage situé à 0,20 m au-dessus du sol et la date de la mesure

- La longueur et la profondeur de la partie crépinée du tubage. Les sondages ont été forés en diamètre 160 mm et équipés d'un tubage en PVC de diamètre 118/125 mm

La partie crépinée du tubage comprend par mètre linéaire : 32 fentes de 0,13 x 0,005 m, soit une ouverture de $2,08 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ correspondant à un pourcentage de vide de 5,5 %.

n° 991-4-287

x = 754,20

y = 158,22

z = + 8 m

date d'exécution : 17/01/1975

0	à	0,80	:	limons	)	QUATERNAIRE	
0,80	à	1,50	:	limons enrobant quelques galets	}			
1,50	à	3,00	:	galets et sable argileux				
3,00	à	4,50	:	sable jaune argileux et galets				
4,50	à	6,00	:	galets et sable jaune argileux			- débit faible	
6,00	à	9,00	:	sable gris micacé et galets		VILLAFRANCHIEN	}	
9,00	à	12,00	:	graviers, galets et sable gris				
12,00	à	13,50	:	galets et sable gris				débit fort
13,50	à	16,50	:	galets, sable gris et graviers				
16,50	à	17,00	:	gros galets, graviers et sable)		
17,50			:	marnes jaunes très dures		)	PLIOCENE MARIN

Profondeur de l'eau : 2,85 m le 22/01/1975

Tubage crépiné de 12,50 m à 17,50 m

n° 964-8-39

x = 757,64

y = 163,80

z = + 17 m

Date d'exécution : 15 et 16/01/1975

0	à	1,50	:	limons	}	QUATERNAIRE	}	débit faible
1,50	à	4,50	:	limons argileux				
4,50	à	6,00	:	argile et graviers	}		}	débit moyen
6,00	à	7,50	:	sable argileux				
7,50	à	9,00	:	sable et gros galets	}		}	débit fort
9,00	à	10,50	:	sable gris et graviers				
10,50	à	12,00	:	sable gris, galets et gros graviers	}	VILLAFRANCHIEN	}	
12,00	à	13,50	:	sable argileux jaune et graviers moyens				
13,50	à	15,00	:	galets moyens et sable	}		}	débit faible
15,00	à	16,50	:	sable et graviers				
16,50	à	25,50	:	sable, graviers et gros galets	}		}	
25,50	à	28,50	:	sable jaune et gros galets				
28,50	à	30,00	:	sable jaune à petits graviers et gros galets	}	ASTIEN	}	débit faible

Profondeur de l'eau : 1,94 m le 17/01/1975

Tubage crépiné de 22 à 30 m

n° 965-2-158

x = 769,32

y = 173,96

z = 45 m

Date d'exécution : 10/12/1974

0	à	1,50	:	limons gris	}	QUATERNAIRE	)	débit faible
1,50	à	3,00	:	limons, galets et sable				
3,00	à	4,50	:	galets et sables limoneux	}	VILAFRANCHIEN	)	débit fort
4,50	à	12,00	:	sable et galets				
12,00	à	13,50	:	galets et sable jaune fin	}	PLAISANCIEN	)	débit nul
13,50	à	13,70	:	argile jaune				
13,70	à	14,50	:	argile bleue				

Profondeur de l'eau : 1,46 m le 11/12/1975

Tubage crépiné de 10,50 m à 13,50 m

n° 965-2-159

x = 771,36

y = 172,64

z = 54 m

Date d'exécution : 11/12/1974

0	à	2,00	:	limons, graviers et galets	}	QUATERNAIRE	)	débit fort
2,00	à	6,00	:	alternance de taparas (poudingue à ciment calcaire) et de niveaux sableux				
6,00	à	7,50	:	galets et sable	}	VILAFRANCHIEN	)	débit fort
7,50	à	9,00	:	galets				
9,00	à	11,00	:	galets et sable	}	PLAISANCIEN	)	débit nul
11,00	à	11,50	:	marne jaune				
11,50	à	12,00	:	marne bleue				

Profondeur de l'eau : 4,79 m le 12/12/1974

Tubage crépiné de 7 à 11 m.

n° 965-2-160

x : 772,80

y : 175,44

z : 57 m

Date d'exécution : 17/12/1974

0	à	0,80	:	terre végétale et galets	)	QUATERNAIRE	
0,80	à	1,50	:	taparas	}		
1,50	à	3,00	:	graviers, petits galets et sable plus ou moins argileux			
3,00	à	4,50	:	sable et graviers			3,50 m :
4,50	à	9,00	:	sable argileux jaune ; quelques graviers		VILLAFRANCHIEN	débit faible
9,00	à	10,50	:	sable gris propre	}		débit moyen
10,50	à	13,20	:	sable gris et petits galets siliceux			débit fort
13,20	à	14,00	:	argile jaune	}		
14,00	à	15,00	:	argile bleue		PLAISANCIEN	débit nul

Profondeur de l'eau : 3,50 m le 17/12/1974

Tubage crépiné de 9 à 13 m.

n° 965-2-161

x : 772,52

y : 174,52

z : 57 m

Date d'exécution : 16/12/1975

0	à	1,50	:	limons et galets	)	QUATERNAIRE	
1,50	à	3,00	:	taparas	}		
3,00	à	3,70	:	taparas et sable à petits galets passés de sable argileux jaunes à petits galets siliceux			
3,70	à	5,50	:	taparas		VILLAFRANCHIEN	4,50 m : débit faible
5,50	à	7,50	:	sable jaune et petits galets	}		
7,50	à	13,50	:	sable gris et galets			débit fort
13,50	à	14,30	:	sable graveuleux et petits graviers	}		
14,30	à	14,60	:	argile jaune)	PLAISANCIEN	) débit nul

Profondeur de l'eau : 2,93 m le 18/12/1974

Tubage crépiné de 9,60 m à 13,60 m.

n° 965-3-225

x : 775,34

y : 174,05

z : 65 m

Date d'exécution : 12/12/1974

0	à	4,50	:	taparas	}	VILLAFRANCHIEN	) débit faible
4,50	à	6,00	:	graviers et argile			
6,00	à	6,20	:	argile jaune	)	PLAISANCIEN	) débit nul

Profondeur de l'eau : 4,04 m le 17/12/1974

Tubage crépiné de 3,50 m à 6 m.

n° 965-3-226

x : 775,82

y : 175,86

z : 67,50 m

Date d'exécution : 13/12/1974

0	à	0,80	:	limons et galets	)	QUATERNAIRE	
0,80	à	4,00	:	galets plus ou moins cimentés et argile rouge	}	VILLAFRANCHIEN	) débit faible
4,00	à	4,50	:	graviers et sable			
4,50	à	6,00	:	graviers et sables argileux			
6,00	à	7,50	:	sable jaune et petits galets			) débit moyen
7,50	à	9,00	:	sable, argile jaune et gros galets	}	PLAISANCIEN	) débit nul
9,00	à	10,50	:	argile jaune			

Profondeur de l'eau : 3,14 m le 13/12/1974

Tubage crépiné de 5 à 9 m.

n° 965-5-195

x : 762,92

y : 163,45

z : + 66 m

Date d'exécution : 07/01/1975

0	à	1,70	: limons argileux	) QUATERNAIRE	
1,70	à	3,00	: petits galets et sable argileux	} VILLAFRANCHIEN	} débit nul
3,00	à	4,50	: sable argileux et galets		
4,50	à	7,50	: sable, galets et argile	)	) débit faible
7,50			: argile	) PLIOCENE MARIN	) débit nul

Profondeur de l'eau : 1,375 m le 09/01/1975

Tubage crépiné de 5 à 7,50 m.

n° 965-5-196

x : 764,86

y : 165,80

z : + 64 m

Date d'exécution : 02/01/1975

0	à	1,50	: limons et graviers	) QUATERNAIRE	
1,50	à	6,00	: gapan	} VILLAFRANCHIEN	} débit faible
6,00	à	7,50	: graviers, sable et argile rouge		
7,50	à	10,50	: sable jaune, graviers et galets	)	) débit moyen
10,50	à	13,50	: gros galets, graviers et sable	)	) débit nul
13,50	à	14,50	: galets et sable	} PLAISANCIEN	} débit nul
14,50	à	15,00	: galets et sable, argile jaune à la fin		
15,00	à	15,30	: argile bleue	)	) débit nul

Profondeur de l'eau : 4,095 m le 08/01/1975

Tubage crépiné de 11 à 15 m.

n° 965-5-197

x : 762,03

y : 164,51

z : + 39 m

Date d'exécution : 06/01/1975

0	à	0,60	: limons et galets	) QUATERNAIRE	
0,60	à	3,00	: gapan	) VILLAGRANCHIEN	) débit faible
3,00	à	4,50	: graviers, argile rouge et sable		
4,50	à	6,00	: petits graviers et sable		
6,00	à	9,00	: sable et quelques graviers		
9,00	à	10,50	: sable jaune		
10,50	à	15,50	: sable et graviers		
15,50	à	16,00	: argile	) PLIOCENE MARIN	

Profondeur de l'eau :

Tubage crépiné de 12 à 15 m.

n° 965-6-132

x : 771,94

y : 168,82

z : 66 m

Date d'exécution : 19 et 20/12/1974

0	à	0,50	: limons et galets	) QUATERNAIRE	
0,50	à	7,50	: gapan	) VILLAFRANCHIEN	) 6 m : débit faible
7,50	à	10,50	: galets moyens et sable		) 9 m : débit moyen
10,50	à	14,00	: galets moyens très sableux		) débit fort
14,00	à	15,80	: gros galets et sable		
15,80	à	17,20	: argile jaune	) PLAISANCIEN	) débit nul

Profondeur de l'eau : 5,91 m le 23/12/1974

Tubage crépiné de 11,50 m à 16,50 m.

n° 865-6-133

x : 770,24

y : 170,28

z : 53,5 m

Date d'exécution : 23/12/1974

0	à	0,30	: limons et galets	) QUATERNAIRE	
0,30	à	2,50	: argile et graviers	) VILLAFRANCHIEN	) débit faible
2,50	à	4,50	: taparas		
4,50	à	6,00	: sable, petits galets et argile jaune		
6,00	à	8,50	: graviers et sable jaune argileux		
8,50	à	9,00	: argile plastique jaune	) PLAISANCIEN	

Profondeur de l'eau : 4,35 m le 23/12/1974

Tubage crépiné de 5 à 8,50 m

n° 965-6-134

x : 768,32

y : 166,15

z : 90 m

Date d'exécution : 24/12/1974

0	à	1,00	:	taparas	}	VILLAFRANCHIEN	
1,00	à	3,00	:	taparas et argile rouge			
3,00	à	3,80	:	gapan	}	} 6 m : débit faible	
3,80	à	8,60	:	galets et sable dont petits galets propres (7 à 8 m)			} 7,50 m : débit fort
8,60	à	9,00	:	argile jaune	)	PLAISANCIEN	} 8,60 m : débit nul

Profondeur de l'eau : 3,52 m le 26/12/1974

Tubage crépiné de 5 à 8,50 m.

n° 965-7-91

x : 774,08

y : 171,80

z : 59 m

Date d'exécution : 18/12/1974

0	à	0,50	:	limons et galets	)	QUATERNAIRE
0,50	à	3,50	:	taparas	}	} 3,50 m : débit faible
3,50	à	6,00	:	sable et petits galets			} 4,50 m : débit moyen
6,00	à	9,00	:	sable et galets moyens	}	} 6 m : débit fort
9,00	à	10,30	:	sable, galets et argile jaune			} 10,30 m : débit nul
10,30	à	10,50	:	argile jaune	)	PLIOCENE MARIN

Profondeur de l'eau : 3,00 m le 14/01/1975

Tubage crépiné de 5 à 9 m.

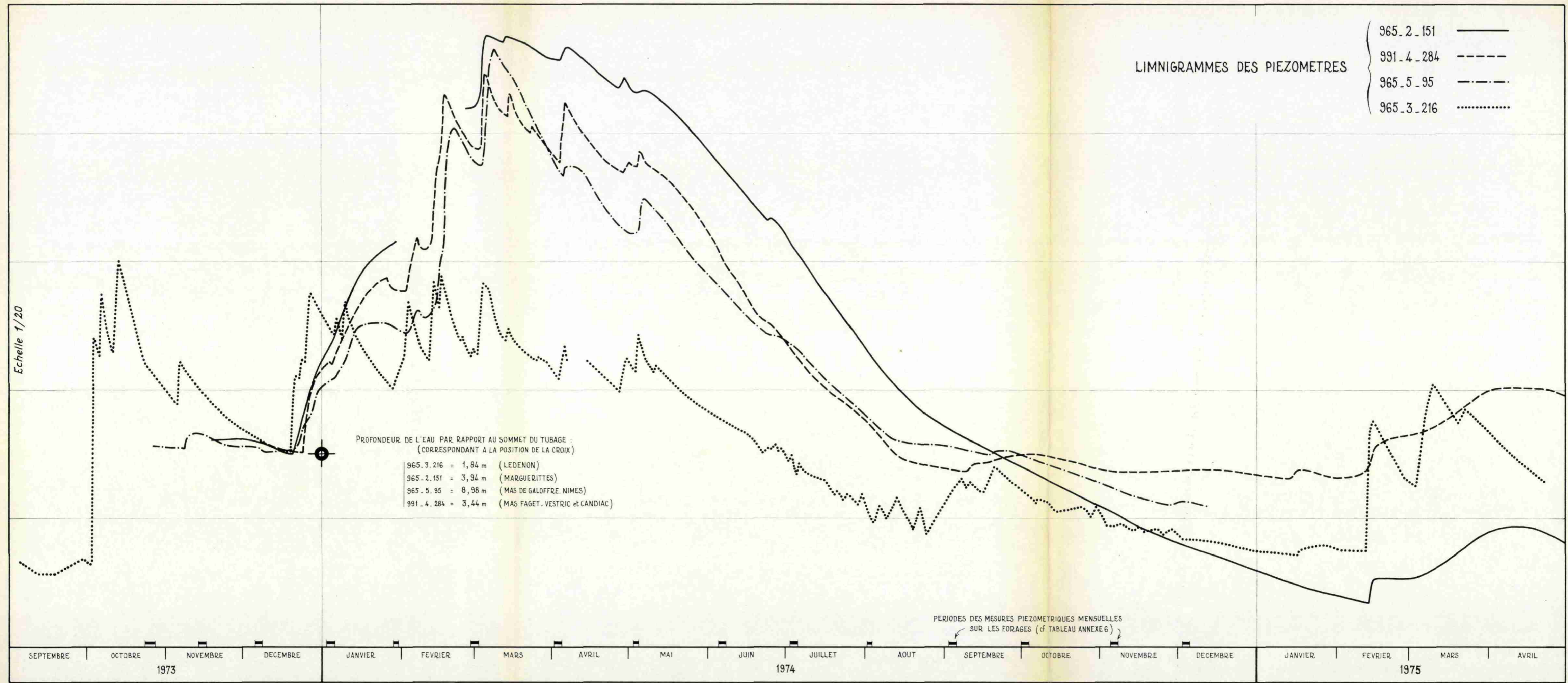


TABLEAU DES MESURES PIEZOMETRIQUES EFFECTUEES EN COSTIERE - VISTRENQUE DE SEPTEMBRE 1973 A DECEMBRE 1974

DATE	964/8/				965/1/	965/2/					965/3/				965/5/								
	10	11	14	16	49	22	37	153	166	168	28	49	141	213	24	26	27	93	103	198	199	200	201
Septembre	4,62*	-	3,35	9,15	2,41	4,48	2,83	5,35	5,42	2,90	3,63	2,85	5,03	16,09	10,71	-	3,42	3,26	3,27	3,21	3,49	1,76	5,40
23/10/73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,44	0,80	3,34	15,00	8,09	-	-	-	-	-	-	-	-
24/10/73	-	-	-	-	1,54	3,58	2,74	4,67	4,04	1,97	-	-	-	-	-	-	-	1,98	-	2,04	2,61	-	-
25/10/73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,68	-	2,82	-	-	0,39	4,39
26/10/73	3,55	-	2,45	7,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/11/73	3,43	-	2,43	7,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,13	-	2,58	-	-	-	-	0,25	-
14/11/73	-	-	-	-	1,53	3,73	2,72	4,82	3,91	2,01	2,11	0,97	3,61	14,67	-	-	-	1,90	2,83	-	-	-	-
15/11/73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,97	2,48	-	4,22
05/12/73	3,75	-	2,57	7,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,85	-	2,77	2,14	2,87	2,23	3,00	-	6,05
07/12/73	-	-	-	-	1,60	3,43	2,88	4,57	4,22	1,94	2,83	1,48	4,08	14,85	-	-	-	-	-	-	-	2,29	-
02/01/74	2,77	-	2,09	6,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/01/74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,79	-	2,29	1,69	2,82	1,54	2,27	-	3,25
04/01/74	-	-	-	-	1,49	2,57	2,41	3,68	2,87	1,50	1,53	0,46	3,14	14,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/01/74	2,87	-	2,10	6,65	1,51	2,15	-	-	-	-	2,05	0,91	3,11	13,55	7,66	-	2,27	1,90	2,89	2,00	2,48	0,17	2,51
29/01/74	-	-	-	-	-	-	2,76	3,42	3,40	1,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/02/74	-	-	-	-	-	-	2,55	2,85	-	-	1,37	0,73	2,27	12,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/02/74	-	-	-	-	1,52	1,42	-	-	2,92	1,61	-	-	-	-	7,10	2,29	-	1,86	2,85	1,75	2,28	0,06	1,37
01/03/74	2,42	-	1,89	5,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/04/74	-	-	-	-	-	1,49	2,75	-	3,56	1,67	2,00	0,89	-	11,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/04/74	-	-	-	-	1,50	-	-	3,06	-	-	-	-	2,75	-	7,06	-	-	1,83	-	1,73	2,30	-	-
04/04/74	2,38	-	1,73	5,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,58	-	-	-	-	0,05	1,30
02/05/74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,32	0,90	3,03	12,13	7,68	-	1,99	-	2,76	-	-	-	-
03/05/74	2,29	-	-	5,76	1,48	1,70	2,72	3,19	3,87	1,71	-	-	-	-	-	-	-	1,88	-	2,08	2,40	-	1,68
04/06/74	-	-	-	-	-	2,29	3,02	3,47	4,06	1,85	2,89	1,34	3,68	12,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05/06/74	-	-	-	-	1,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,21	-	-	1,86
06/06/74	2,90	-	2,21	6,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,14	-	2,27	1,97	2,91	-	2,58	0,20	-
02/07/74	-	-	-	-	1,67	-	-	-	-	-	3,31	-	4,25	13,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/07/74	3,20	-	2,41	7,15	-	-	3,14	-	4,81	2,10	-	-	-	-	9,12	-	2,50	-	-	-	-	0,78	-
04/07/74	-	-	-	-	-	2,56	-	3,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,56	3,00	2,87	2,72	-	2,70
01/08/74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,52	-	-	13,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/08/74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,61	-	10,85	-	-	-	-	-	-	-	-
08/08/74	3,78	3,09	2,85	7,96	1,73	3,68	3,35	4,44	5,04	2,42	-	-	-	-	-	-	2,94	-	3,34	3,19	3,30	0,47	3,31
02/09/74	3,81	-	2,79	8,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/09/74	-	2,96	-	-	1,76	-	3,24	-	-	2,46	-	-	-	-	10,55	2,69	2,91	2,88	-	3,02	2,90	-	4,00
04/09/74	-	-	-	-	-	3,96	-	4,72	5,25	-	3,53	2,19	4,88	14,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/10/74	3,70	2,91	2,64	8,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,43	-	-	-	-	-	-	-	-
02/10/74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,04	2,93	2,55	-	-	3,05	0,21	4,08
03/10/74	-	-	-	-	1,75	4,10	3,17	4,84	5,51	2,22	3,44	2,10	4,97	14,95	-	-	-	-	-	2,69	-	-	-
04/11/74	3,91	3,04	2,79	8,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,77	3,13	0,25	-
05/11/74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,68	1,96	3,09	2,60	-	-	-	-	4,35
06/11/74	-	-	-	-	1,82	4,35	3,16	5,03	5,62	2,25	3,50	2,45	5,03	15,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/12/74	3,85	2,97	2,63	9,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	-	-	-	-	3,02	-
03/12/74	-	-	-	-	-	4,35	-	5,10	-	-	3,55	2,56	5,18	15,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04/12/74	-	-	-	-	1,86	-	3,10	-	5,65	2,23	-	-	-	-	10,69	1,96	-	2,55	-	2,53	2,84	-	4,56
(1)	2,33	-	1,62	3,91	0,93	3,06	0,42	2,50	2,55	1,40	2,26	2,12	2,76	4,44	3,65	-	1,84	1,57	0,45	1,67	1,21	1,71	4,10
(2)	1,62	-	1,12	4,05	0,38	2,93	0,94	2,25	2,78	0,96	2,18	1,83	2,91	4,00	3,79	-	1,54	1,19	0,52	1,65	1,02	2,97	3,26
(3) { +	0,71	-	0,50	-	0,55	0,13	-	0,25	-	0,44	0,08	0,35	-	0,44	-	-	0,30	0,38	-	0,02	0,19	-	0,84
(3) { -	-	-	-	0,14	-	-	0,52	-	0,23	-	-	-	0,15	-	0,14	-	-	-	0,07	-	-	1,26	-

(1) Ecart entre les niveaux piézométriques mesurés en période de hautes eaux 1974 - janvier à avril - et l'étiage 1973 - septembre -

(2) Ecart entre les niveaux piézométriques mesurés en période de hautes eaux 1974 - janvier à avril - et l'étiage 1974 - août à décembre -

(3) Ecart positif ou négatif entre les étiages 1973 et 1974

* Profondeur du niveau piézométrique par rapport au sommet du tubage

Indice de classement BRGM	e en mètre	Ø en mètre	h en mètre	DATE	Q en m ³ /h	tp en heure	Q/D en m ² /h	T 10 ⁻³ m ² /s	S	ti en heure	Qualité de l'essai (1 à 3)	Type de forage ou origine des valeurs des paramètres					OBSERVATIONS
												1	2	3	4	5	
964/8/4	12,70	2,40	3,50	28/10/74	20	8	17,60	4,7	-	-		+					Puits d'Aubord
964/8/18	17,37	2,0	3,15	01/07/75	35	10	50	22	-	# 2	1	+					Puits de Milhaud ; réalimentation induite en bordure de la Garrigue.
964/8/25	16,20	0,70	5,30	14/08/74	18	24	9	2,7	-	# 3	2	+					Puits de Bernis
964/8/34	8,25	1,00	1,83	27/09/74	15	5	25	7	1 x 10 ⁻⁵	2 à 3	1	+					Puits de Vestric et Candiac
964/8/39	30	0,125	1,94	17/01/75	50	3	16,1	7	4,4 x 10 ⁻³	0h 30	1		+				Réalimentation induite par le Vistre
964/8/44	16,07	2,40	4,70	27/09/74	35	15	12	3,6	2 x 10 ⁻⁵	-	1	+					Puits d'Uchaud
965/2/35	14,37	4	5,11	17/07/74	10,25	-	6,75	2,75	-	-	1	+					Puits de St Gervasy
965/2/52	11,70	2	4,98	22/09/74	47	9	125	26	7,75 x 10 ⁻²	-	1	+					Puits de Marguerittes - Poulx
965/2/61	7,90	1,50	1,74	16/07/74	15,5	5	8,2	2,5	-	-	2	+					Puits de Bezouze
965/2/146	9,64	0,100	1,91	10/02/75	12	3	8,35	2,8	-	0h 24	1			+			
965/2/152	26	1	3,16	22/08/74	209	50	41	6	6 x 10 ⁻³	0h 30	1	+					Puits futur de Marguerittes
965/2/158	13,5	0,125	1,46	11/12/74	10,75	4	4,6	2,2	6,3 x 10 ⁻³	-	2		+				
965/2/159	11	0,125	4,79	12/12/74	10	4	13,7	4,6	3,8 x 10 ⁻³	-	1		+				
965/2/160	13,20	0,125	3,50	17/12/74	10	4	14,3	# 5	-	-	3		+				
965/2/161	14,30	0,125	2,93	18/12/74	44	2	23,1	7,2	1,44 x 10 ⁻³	-	1		+				
965/2/169	-	0,100	3,35	06/02/75	10,8	3	24,8	7,8	-	0h 40	1			+			
965/3/54	7,6	2,5	3,25	30/08/73	9	10	53	8,3	-	-	2	+					Puits ancien de Ledenon
965/3/58	6,7	1	4,22	12/02/75	37,5	3	10	# 3,5	-	-	3			+			
965/3/133	14,20	2	4,42	29/08/73	18,7	4	125	21	5 x 10 ⁻²	-	2	+					Puits de Sernhac
965/3/143	8,35	1	2,18	22/07/74	20	5	30	4,5	-	-	1	+					Puits de Redessan
965/3/225	6	0,125	4,04	17/12/74	1,2	2	0,3	0,1	-	-	2		+				
965/3/226	9	0,125	3,14	13/12/74	8,7	3	3,65	1,6	1,15 x 10 ⁻³	-	1		+				
965/5/18	17,50	0,2	# 2	28/08/74	70	5	10	5 à 10	-	-	3	+					Puits de Caissargues
965/5/35	15,15	0,4	# 1	01/08/62	80	96	30	13,5	-	-	2				+		Puits de St Césaire
965/5/139	-	-	-	-	-	-	-	3 à 7	-	-	-					+	Thèse Coudray
965/5/154	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-					+	Thèse Coudray
965/5/169	21	2	4,56	20/02/67	126	100	11	0,9	0,9 x 10 ⁻⁵	0h 36	1				+		Thèse Nejad Hachemi - Réalimentation induite en bordure de la Garrigue.
965/5/192	14	2,5	# 2	05/09/68	80	150	13,5	2,4	-	-	2				+		Casino Nimes
965/5/195	7,5	0,125	1,37	09/01/75	1,8	2	0,34	0,1	-	-	2		+				
965/5/196	14,50	0,125	4,10	08/01/75	7	3	3,4	0,65	2,5 x 10 ⁻²	-	2		+				
965/5/197	15,5	0,125	-	10/01/75	1,2	2	0,3	0,1	-	-	3		+				
965/5/217	10,30	0,100	1,99	23/01/75	11,2	3h 30	4,25	2,2	-	0h 12	1			+			Réalimentation induite par le Vistre
965/5/225	9,80	0,100	1,75	30/01/75	14,2	2	15,3	3,6 à 7,2	3 x 10 ⁻⁵	0h 06	1			+			Réalimentation induite par le Vistre
965/5/230	11,80	0,150	4,23	29/01/75	49,7	4	23,5	11	2,5 x 10 ⁻⁴	1h 05	1			+			Limite étanche Costière après 1h 05 de pompage
965/5/231	-	0,500	1,25	28/01/75	69	3h 30	44	22	2 x 10 ⁻³	1h 10	2			+			Réalimentation induite par le Vistre
607 *	-	-	-	-	-	-	-	2,6	-	-	-					+	Thèse Coudray : x = 760,65, y = 166,22
608 *	-	-	-	-	-	-	-	3,6 à 6,5	-	-	-					+	Thèse Coudray : x = 760,88, y = 165,86
965/6/91	12	3	3,03	10/07/74	60	4	111	22	1,9 x 10 ⁻²	-	1	+					Puits du Syndicat Bouillargues-Garons
965/6/95	12,40	1	3	22/07/74	40	5	80	13,6	-	-	1	+					Puits de Rodilhan
965/6/128	-	0,60	# 3	19/05/73	30	3	15	5	-	-	2	+					Puits de Manduel
965/6/132	15,80	0,125	5,91	23/12/74	41	4	65	41	14,7 x 10 ⁻²	-	1		+				
965/6/133	8,5	0,125	4,35	22/12/74	0,6	3	0,4	0,11	-	-	2		+				
965/6/134	8,6	0,125	3,52	26/12/74	1,8	3	0,425	0,17	-	-	2		+				
965/6/137	7,60	0,65	0	18/05/73	18	3	3,6	2	-	-	2	+					Puits de Manduel
965/7/91	10,3	0,125	3,0	14/01/75	12	2	15	6,4	5 x 10 ⁻²	-	1		+				
991/3/353	16,50	3,0	6,54	02/10/74	90	20	20	3	-	# 16	2	+					Puits du Syndicat du moyen Rhony (Vergèze, Codogan, Mus)
991/4/3	12,35	1,20	3,37	09/10/74	15	4	115	20 à 28	-	-	2	+					Puits de Beauvoisin
991/4/38	15,70	3	3,27	-	150	-	<15	4,5	-	-	2					+	Société Perrier
991/4/39	17,25	3,0	3,25	22/10/74	100	10	36	14,7	1,3 x 10 ⁻³	8	1	+					Puits de Vauvert. Limite étanche (affleurements pliocènes) après 8 heures de pompage.
991/4/79	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-					+	Thèse Coudray
991/4/279	-	0,18	-	-	24	-	10	3	-	-	2					+	Société Perrier
991/4/280	22,31	0,3	-	-	32	-	10	3	-	-	2					+	Société Perrier
991/4/287	17	0,125	2,85	22/01/75	50,5	3h 30	15,5	18,6	2 x 10 ⁻⁴	-	1		+				
991/4/294	17,2	0,100	4,48	06/06/63	5,3	12	4,25	7,3	6 x 10 ⁻⁵	-	1				+		Forage C.P.G.F.
991/4/295	12,2	0,100	1,98	21/06/63	11	5	5,1	16	-	-	2				+		Forage C.P.G.F.
991/4/297	15	0,100	1,80	30/05/63	13	5	18	15	-	-	2				+		Forage C.P.G.F.
186 *	-	-	-	-	-	-	-	4,6	-	-	-					+	Thèse Coudray : x = 752,70, y = 161,50
187 *	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-					+	Thèse Coudray : x = 753,15, y = 159,28

e : Profondeur du puits ou forage/sol
 Ø : Diamètre du puits ou forage
 h : Profondeur de l'eau/sol
 Q : Débit prélevé au cours du pompage d'essai
 Q/D : Débit spécifique
 tp : Durée du pompage
 * Numéro d'ordre des forages non archivés au BRGM

T : Transmissivité
 S : Coefficient d'emmagasinement
 ti : Temps de réalimentation induite
 Qualité de l'essai { 1 : bonne
 2 : moyenne
 3 : médiocre

1 : Ouvrage de captage communal
 2 : Sondage "Sud-Est Forage" effectué en 12/74 et 01/75
 3 : Autre forage de caractéristiques techniques acceptables
 4 : Les valeurs des paramètres hydrodynamiques sont calculées à partir des résultats de pompages d'essai archivés au BRGM
 5 : Les valeurs des paramètres hydrodynamiques sont extraits de thèses de l'Université de Montpellier

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA COSTIERE-VISTRENQUE (Gard)

Limnigrammes des puits 965.2.151 (P1) et 965.2.152 (P2)

au cours du pompage d'essai dans le puits P2

