



Ministère de l'Industrie,
des Postes et Télécommunications
et du Commerce extérieur



DIRECTION RÉGIONALE DE
L'ENVIRONNEMENT
PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR



DOCUMENT A ACCES RESERVE

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Janvier 1995
R 38199



Étude réalisée dans le cadre des
actions de Service public du BRGM

94 - D - 211

BRGM
Service Géologique Régional
Provence-Alpes-Côte d'Azur

117, avenue de Luminy - BP. 168 -
13276 MARSEILLE Cedex 09 (FRANCE) - Tél. (33) 91 17 74 74

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Mots clés : MARTHE, Modélisation, Hydrodynamique, Géologie, Villafranchien, Plaine de la Crau (Bouches du Rhône).

En bibliographie ce rapport sera cité de la façon suivante :

BERARD P., DAUM J.R., MARTIN J.C. - (1995), "MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau. Rapport BRGM R 38199, 18 p, 51 fig., 7 tabl., 3 ann.

BRGM, 1995, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

RESUME

La plaine de la Crau s'étend sur 520 km². Elle est essentiellement composée de cailloutis et graviers du Pliocène et du Quaternaire qui constituent une nappe alluviale à très fortes potentialités hydrodynamiques.

Les besoins en irrigation sont très importants, ils sont assurés en majeure partie à l'aide de nombreux canaux apportant des eaux superficielles de bonne qualité dérivées de la Basse Durance. L'alimentation en eau potable et industrielle est par contre satisfaite à partir de prélèvements dans la nappe phréatique. Les ouvrages d'exploitation : puits et forages, sollicitent cet aquifère selon le sillon d'Arles au Nord, et selon le couloir de Miramas à l'Est.

Afin de faciliter et d'optimiser la gestion des eaux, la modélisation de la nappe de la Crau a déjà été réalisée dans le passé à l'aide d'outils différents : modèles analogiques, modèles électriques et modèles mathématiques. Le plus récent modèle numérique a été élaboré par le BRGM en 1984.

Dans un souci de perfectionnement et de modernisation, il a été décidé de reprendre cette modélisation, en utilisant un logiciel plus performant, plus pratique et opérant sur PC : le logiciel MARTHE. Pour ce faire, nous avons adopté un nouveau maillage, et pris également en compte des données plus détaillées (infiltration des pluies calculée à l'aide d'un modèle hydrologique global et ETP décennales, modèle topographique de terrain MNT, substratum de la nappe, raisonnement en perméabilités ...), et actualisées tant en matière d'irrigation qui participe à la recharge de l'aquifère pour les 2/3 des apports, que pour les prélèvements.

Dans une première phase le modèle a été calé en régime permanent (état piézométrique moyen) et en régime transitoire sur la période 1987-1993 avec un pas de temps mensuel. Le bilan global de la nappe rend compte pour les apports à la nappe, de la prépondérance des irrigations sur les pluies ou sur les flux entrant en limite NE de la plaine, et pour les sorties, de l'importance plus modeste des prélèvements par rapport aux flux naturels : sources et laurons, drainages ou débordements en limites Nord et Sud.

Dans une seconde phase, le modèle actuel sera utilisé pour la gestion quantitative et qualitative de la nappe : simulations de différents scénarios d'exploitation des eaux, simulations de transferts éventuels de pollution, simulations de comportement du biseau salé en aval hydraulique du système Crau.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
1. RAPPEL DU CONTEXTE GEOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	4
1.1. Localisation et contexte géologique	4
1.2. Contexte hydrogéologique, conditions aux limites	4
2. ELEMENTS PRIS EN COMPTE POUR L'ELABORATION DU MODELE	5
2.1. LE LOGICIEL MARTHE	5
2.2. MAILLAGE DU MODELE	6
2.3. SURFACE TOPOGRAPHIQUE	6
2.4. EPAISSEUR DES ALLUVIONS AQUIFERES ET COTES DU SUBSTRATUM	6
2.5. PIEZOMETRIE DE REFERENCE	7
2.6. PARAMETRES HYDRAULIQUES	8
2.6.1. Perméabilités	8
2.6.2. Coefficients d'emménagement	9
2.7. IRRIGATIONS	9
2.7.1. Utilisation d'une image satellite SPOT	9
2.7.2. Répartition à partir des dotations en eaux superficielles	10
2.7.3. Irrigations à partir des eaux souterraines	11

2.8. RECHARGE DE LA NAPPE PAR INFILTRATION DES PLUIES.....	11
2.9. PRELEVEMENTS	13
3. CALAGE DU MODELE EN REGIME PERMANENT.....	15
3.1 PREMIERES SIMULATIONS	15
3.2 AUTRE SIMULATION.....	16
4. CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE	18
CONCLUSION.....	20
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	21
LISTE DES FIGURES.....	23
LISTE DES TABLEAUX.....	22
LISTE DES ANNEXES.....	22

INTRODUCTION

La nappe de la Crau a fait l'objet d'une première modélisation par la Société Géohydraulique en 1967-1968 : modèles analogiques (réseau de résistances-capacités et cuve rhéoelectrique) et modèle mathématique.

En 1972 un second modèle mathématique a été élaboré par le BRGM. Ce modèle a été repris et actualisé en 1984.

Une adaptation sur PC de ce modèle incluant une nouvelle **actualisation et la modernisation** de l'outil nous a été demandée **dans le cadre d'une action cofinancée par le Ministère de l'Environnement et le Ministère de l'Industrie.**

L'objectif principal de ce modèle est la gestion de la nappe de la Crau qui comprendra à court terme :

- la réalisation de simulations sur les conditions d'exploitation de cet aquifère pour les divers usages d'AEP, d'irrigations, et d'alimentation en eau industrielle,
- les possibilités de rendre compte des effets de contaminations éventuelles dans différents secteurs de la nappe, avec le tracé des trajectoires de pollution,
- et, dans une étape ultérieure, le suivi de l'évolution du biseau salé en aval hydraulique du système.

Le nouveau logiciel utilisé pour la confection du modèle est le logiciel MARTHE. Le logiciel GARDENIA (modèle hydrologique global) a été utilisé pour l'évaluation de la recharge par infiltration des pluies. Les données du modèle, ainsi que les résultats calculés par MARTHE ont été cartographiés avec le logiciel INGRID. Les historiques de piézométrie (observés et simulés) ont été tracés à l'aide du logiciel EXCEL.

Ce nouveau modèle, qui constitue un outil régional plus performant a été appelé "MARTCRAU".

1. RAPPEL DU CONTEXTE GEOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

1.1. LOCALISATION ET CONTEXTE GEOLOGIQUE

La plaine de la Crau (Bouches-du-Rhône) a grossièrement la forme d'un triangle équilatéral compris entre Lamanon au NE , Arles au NW et Fos-sur-Mer au Sud. Sa superficie est d'environ 520 km² (figure 1).

Elle est constituée par les alluvions de l'ancienne Durance : **cailloutis et graviers** à matrice sableuse, localement cimentés en poudingues. La Crau d'Arles à éléments calcaires et quartzitiques est d'âge Villafranchien (Pliocène). La Crau de Salon, Miramas, Fos-sur-Mer, à cailloutis essentiellement quartzitiques, est d'âge plus récent, Würmien (Quaternaire).

Les cailloutis reposent sur un **substratum** représenté au Nord par les argiles du Pliocène ou par les marnes bleues sableuses de l'Helvétien (Miocène), et au Sud par des molasses calcaires, des marnes ou des grès fins du Burdigalien (Miocène).

L'épaisseur des alluvions déduite des résultats de forages est de **5 à 10 mètres sur les bordures Nord et Est**, ainsi que dans la zone centrale. **Autour des étangs d'Entressen et des Aulnes cette épaisseur va de 0 à 5 m** (affleurements du substratum imperméable). **Ailleurs, les épaisseurs varient entre 20 et 35 m, avec des valeurs maximales suivant deux axes principaux :**

- un axe pratiquement Est-Ouest passant par St-Martin-de-Crau en direction d'Arles, appelé sillon d'Arles,
- un axe NNE-SSW à l'Ouest d'une ligne Miramas-Fos-sur-Mer, appelé sillon ou couloir de Miramas.

1.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE, CONDITIONS AUX LIMITES

Les alluvions sont le siège de la nappe phréatique qui s'écoule du NE au SW. La **zone d'alimentation** se situe au NE de la plaine au travers des cailloutis et des colluvions du massif de Vernègues.

La partie centrale et la partie méridionale de la bordure Est constituent une **limite à flux nul** (frontières imperméables).

La bordure Nord est également une limite imperméable, sauf dans les secteurs des marais des Baux et des sources de Mourières qui constituent des exutoires partiels de la nappe.

Enfin, toute la bordure NW-SE entre Arles et Fos représente l'**exutoire principal** de la nappe. C'est une ligne d'émergence constituée de marais et de sources plus ou moins bien individualisées (les laurons) à niveau assez constant entre 0,5 et 1,5 m d'altitude. Cette zone est drainée par le canal du Vigueirat.

Au delà de cette limite d'émergence la nappe se poursuit sous une couverture imperméable de limons quaternaires récents qui la maintient en charge. La **nappe devient captive**, elle passe alors sous le

Rhône, sans connexion hydraulique avec le fleuve, ou avec des échanges de flux limités, puis en Camargue elle se charge progressivement en sels jusqu'à devenir saumâtre puis **salée**.

Afin de limiter l'intrusion du biseau salé, le niveau d'eau est maintenu à 1,20 m NGF dans une tranchée aménagée en 1972 au Nord de la zone industrielle de Fos-sur-Mer. Cette condition ne peut être réalisée que si le niveau de la nappe en amont de la tranchée reste suffisamment haut.

Un schéma géologique et hydrogéologique de la plaine de la Crau entre le massif de Vernègues au NE et la Camargue au SW est représenté en coupe sur la figure 2.

2. ELEMENTS PRIS EN COMPTE POUR L'ELABORATION DU MODELE

2.1. LE LOGICIEL MARTHE

Signification du nom : Modélisation d'Aquifère par un maillage Rectangulaire en Régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements.

La chaîne MARTHE est un logiciel comprenant :

- le **module de calcul MARTHE**, outil de modélisation des écoulements dans les milieux poreux (calcul des charges hydrauliques et des débits) par la méthode des différences finies.

Le domaine étudié est discrétisé en un maillage rectangulaire variable, avec possibilité de créer des sous-maillages gigognes.

Les différentes données et les résultats (charges, débits) sont rangés dans des fichiers selon le format du maillage, appelé SEMIS.

Les cas suivants peuvent être traités :

- aquifère monocouche, ou multicouche,
 - aquifère libre ou captif ou mixte,
 - écoulement tridimensionnel,
 - régime permanent et transitoire,
 - simulation de mailles dénoyées ou à débordement,
 - simulation de liaison(s) étanche(s) entre mailles,
 - simulation de zones équipotentielles,
 - anisotropie horizontale et verticale des perméabilités;
- les **modules de préparation, de gestion et de représentation graphique** des données et des résultats cités ci-après :
- RAMAGE : création et modification d'un maillage,
 - INGRID : interpolation et génération de valeurs au centre des mailles, tracé graphique à l'écran ou sur imprimante de courbes isovaleurs, de plages de valeurs et d'habillage géographique,
 - OPERASEM : éditeur et gestionnaire de fichiers SEMIS, opérations entre fichiers,

- GRAPHMAR : tracé graphique des résultats (cartes piézométriques, historiques de charge et de débit).

2.2. MAILLAGE DU MODELE

Pour le modèle MARTCRAU on a choisi des **mailles carrées de 500 m de côté**. Elles sont orientées et numérotées suivant les coordonnées Lambert.

La surface utile du modèle (mailles de calcul) représente **2 082 mailles, soit 520 km²**.

Le maillage adopté suivant les limites de la nappe libre est représenté sur la figure 3. **Les mailles cochées d'une croix sont les mailles à potentiel imposé.**

2.3. SURFACE TOPOGRAPHIQUE

Un modèle numérique de terrain de l'IGN (MNT) avec une valeur tous les 250 m, a été acquis pour l'ensemble de la zone étudiée. Il a permis la création du fichier "topographie" du modèle représentant l'altitude moyenne de chaque maille en son centre, et pouvant être considérée comme cote de débordement. Les courbes de niveau tracées à partir de ce fichier sont représentées sur la figure 4.

2.4. EPAISSEUR DES ALLUVIONS AQUIFERES ET COTES DU SUBSTRATUM

Une carte de l'épaisseur des cailloutis a été établie à partir de la carte géologique de 1975, ce qui a permis la création d'un fichier SEMIS représentant cette épaisseur qui varie de 5 à 35 m.

Le fichier "cotes du substratum" a été ensuite créé par différence entre le fichier "topographie" et le fichier "épaisseur des cailloutis". Sa représentation graphique en isohypses (figure 5) indique nettement les deux sillons E-W d'Arles et NNE-SSW du couloir de Miramas.

Par la suite, après les premiers tests de cohérence, on a été amené à modifier ces cotes du substratum. En effet les premières simulations effectuées en régime permanent avec des données équivalentes à celles du calage du modèle en 1984 donnaient toutes à la fois beaucoup trop de mailles dénoyées et de mailles à débordement (environ 400 au total, et, selon les modifications apportées aux perméabilités de départ, les unes augmentant lorsqu'on essayait de diminuer les autres). D'une part cela empêchait une convergence satisfaisante du calcul itératif des charges, d'autre part ces résultats de simulation n'étaient certes pas le reflet de la réalité de terrain.

Par ailleurs sur les 1200 points d'eau enregistrés en BSS, 257 ouvrages renseignés de coupes géologiques indiquent la profondeur du substratum et sa cote NGF. Mais ces données ne permettaient pas non plus de modifier de manière sensible les cotes du substratum de la carte.

Afin de vérifier également la fiabilité de la carte des épaisseurs des cailloutis, on a comparé le fichier des cotes du substratum établi à partir de cette carte et le fichier de la piézométrie de Juillet 1982. Pour un grand nombre de mailles (figure 6) le niveau piézométrique se trouvait en dessous de la cote

du substratum, ce qui tend évidemment à prouver qu'en bien des points l'épaisseur des cailloutis était sous-estimée.

La suppression des dénoyages a été possible en abaissant progressivement le substratum, jusqu'à considérer une épaisseur minimale de cailloutis de 25 mètres. Les épaisseurs supérieures à 25 m de la carte originelle ont été conservées. La carte des isohypses du substratum ainsi simulé est présentée sur la figure 7.

Cette prise en compte d'une épaisseur d'aquifère plus importante que celle déduite des observations de forages peut paraître factice, mais l'incompatibilité des données qui est montrée ou tout au moins suggérée par le modèle, pourrait fort bien refléter une réalité de terrain. Dans bien des cas en effet, le substratum indiqué par les puits et forages (dont bon nombre sont peu profonds) pourrait ne correspondre qu'au toit d'une lentille argileuse, ou marneuse, ou encore molassique, sous laquelle l'aquifère se prolongerait.

L'extension de l'aquifère en profondeur pourrait être envisagée dans ce cas, soit dans les cailloutis quaternaires, soit dans les sables du Pliocène, ou même encore au sein des calcaires ou des grès du Miocène.

2.5. PIEZOMETRIE DE REFERENCE

La carte piézométrique retenue pour la modélisation est celle de fin juin-début juillet 1982. Cette piézométrie est très comparable à celle de fin juin 1969, sauf dans le couloir de Miramas où elle s'est abaissée de 2 à 4 mètres à la suite d'une augmentation, dans ce secteur, des prélèvements pour l'alimentation en eau potable et en eau industrielle.

Depuis cette date, des mesures ponctuelles effectuées en décembre 1993 montrent qu'il n'y a pas eu d'abaissement supplémentaire significatif. **La piézométrie de juillet 1982 a donc servi de référence pour le calage du modèle MARTCRAU en régime permanent.**

Par ailleurs on dispose des chroniques piézométriques enregistrées depuis janvier 1987 sur le réseau d'observation de la DIREN (24 piézomètres sur la zone d'étude) et du BRGM (3 piézomètres) qui ont servi de référence pour le calage du modèle en régime transitoire. Ce calage a été effectué sur une période de sept ans : de janvier 1987 à décembre 1993, avec un pas de temps mensuel. .

La localisation des piézomètres est représentée sur la figure 8, et leurs coordonnées sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Commune	Identification	Coordonnées géographiques (Lambert II)				
		ouvrage			centre maille	
		X	Y	Z	X	Y
Arles	F18	804.20	134.15	1.95	804.25	134.25
	P9	804.14	137.10	8.83	804.25	137.25
	P13	791.02	154.36	28.25	791.25	154.25
	P21	799.70	140.85	4.54	799.75	140.75
	P30	788.37	153.72	23.25	788.25	153.75
	P45	794.48	146.62	21.40	794.25	146.75
Aureille	P4	810.04	155.30	60.53	810.25	155.25
	Pont des Fioles	809.28	156.50	64.28	809.25	156.25
Eyguières	P1	816.65	153.32	83.00	816.75	153.25
	P4	813.66	156.07	69.22	813.75	156.25
Grans	P7	816.18	151.20	64.90	816.25	151.25
Istres	F4 La Caspienne	811.91	140.77	30.75	811.75	140.75
	Fanfarigoule	809.38	136.08	14.00	809.25	136.25
	P2	812.58	135.86	15.75	812.75	135.75
	P8	811.14	147.10	46.50	811.25	147.25
	P19	808.73	149.08	45.75	808.75	149.25
	P21	808.76	147.20	40.55	808.75	147.25
Miramas	P29	807.14	142.02	24.70	807.25	142.25
	P5	815.00	146.85	53.10	815.25	146.75
	P7	802.32	144.18	15.95	802.25	144.25
St-Martin de Crau	P18	810.94	152.39	54.52	810.75	152.25
	P20	799.28	146.20	19.05	799.25	146.25
	P23	804.42	145.16	25.25	804.25	145.25
	P23b	805.53	145.44	28.35	805.75	145.25
	P42	803.70	148.88	32.20	803.75	148.75
	P61	800.11	152.23	24.05	800.25	152.25
Salon de Provence	P48	819.73	152.30	71.20	819.75	152.25

Tableau 1 : Coordonnées des piézomètres utilisés pour le calage du modèle

2.6. PARAMETRES HYDRAULIQUES

2.6.1. Perméabilités

La modélisation de 1984 avait été faite en tenant compte uniquement de valeurs de transmissivités (T) {T = perméabilité (K) x épaisseur mouillée (e)}, qui restaient donc constantes en simulation de régime transitoire. Or, en régime transitoire, et en nappe libre, la transmissivité varie du fait des variations de la hauteur mouillée. Afin de simuler cette réalité, on s'est donc proposé, sur le modèle actuel, de travailler en perméabilités, d'où l'introduction nécessaire des cotes du substratum dans les données du modèle.

Partant des valeurs de transmissivité (T) du calage du précédent modèle, les perméabilités (K) de départ ont été calculées comme suit :

$$K = T / e$$

avec e = cote piézométrique 82 - cote substratum,

cela directement sur l'ensemble des mailles du modèle en utilisant le module OPERASEM (opérations entre fichiers SEMIS).

Après les premiers tests de cohérence, qui ont montré l'impossibilité d'utiliser les cotes du substratum déduites de la carte originelle des épaisseurs des cailloutis, les perméabilités de départ ont été recalculées de la même manière avec les cotes modifiées du substratum (cf. chap.2.5.).

Par la suite, ces perméabilités de départ ont été quelque peu modifiées afin de caler les courbes piézométriques sur la piézométrie de référence observée en 1982.

La carte des perméabilités simulées correspondant à ce nouveau calage, avec des variations allant de 4.10^{-5} à $1,6.10^{-2}$ m/s, se trouve en figure 9.

2.6.2. Coefficients d'emménagement

Pour le calage en régime transitoire, nous sommes partis également des valeurs des coefficients d'emménagement (S) de l'étalonnage du précédent modèle. Ces valeurs ont ensuite été plusieurs fois modifiées (dans le sens d'une extension de la gamme des valeurs) afin de simuler des variations piézométriques proches de celles observées entre janvier 1987 et décembre 1993.

La carte de la distribution finale des coefficients d'emménagement est présentée sur la figure 10. La gamme des valeurs va de 1 à 18 %.

2.7. IRRIGATIONS

La plaine de la Crau est fortement irriguée à partir de canaux important des eaux en provenance de la Basse Durance (adduction gravitaire) et, pour une plus faible partie, en secteur aval, à partir des eaux souterraines de la nappe elle-même (prélèvements par pompage).

2.7.1. Utilisation d'une image satellite SPOT

La cartographie des zones irriguées et cultivées s.l. s'est appuyée sur une étude par télédétection avec utilisation des données SPOT : image du 04.07.93, références en K/J 049-262.

Cette image a été restituée en composition colorée et après corrections géométriques à l'échelle du 1/50.000.

Un masque des bois et des garrigues précède une classification supervisée permettant de définir 6 classes d'occupation des sols radiométriquement distinctes :

- surfaces en eau,

- vergers,
- zones urbanisées,
- cultures,
- sols nus agricoles,
- cultures inondées.

Selon cette carte, télé-interprétée et exhaustive, les périmètres irrigués correspondant aux cultures s.l., aux cultures irriguées et inondées, et également aux vergers utilisant les eaux de la nappe représentent 26 500 hectares (figure 11).

2.7.2. Répartition à partir des dotations en eaux superficielles

Par ailleurs, une cartographie des seules zones irriguées à partir des eaux de surface (apports gravitaires) ainsi que leur superficie et les volumes d'eau apportés correspondants, ont été recueillis auprès de la DDAF d'Arles (données de 1992). Sept zones sont distinguées avec une superficie totale de 19 000 hectares. Ces différentes zones sont représentées en figure 12, les données correspondantes (volumes et surfaces) pour les différentes périodes de l'année figurent dans le tableau 2.

ZONE -	SALON (OGA)	CONGRES CANALET	EYGUIERES (OGC)	EYGUIERES (OGA)	VALLEE BAUX	ARLES + SECOURS	ISTRES (OGC)
Superficie	792 ha	4 490 ha	604 ha	523 ha	1 015 ha	10 270 ha	1 302 ha
MOIS							
janvier	85 536	505 440	116 640	85 536	191 808	2 654 208	349 920
février	85 536	505 440	116 640	85 536	191 808	2 654 208	349 920
mars	372 218	3 315 548	509 392	372 218	1 036 534	7 889 040	1 528 262
avril	983 664	9 652 608	1 346 544	983 664	2 225 232	18 826 992	4 044 816
mai	1 809 000	18 130 200	2 479 000	1 811 680	4 092 360	37 466 400	7 450 400
juin	1 749 600	17 534 880	2 397 600	1 752 192	3 957 984	36 236 160	7 205 760
juillet	1 809000	18 130 200	2 479 000	1 811 680	4 092 360	37 466 400	7 450 400
août	1 809 000	18 130 200	2 479 000	1 811 680	4 092 360	37 466 400	7 450 400
septembre	983 664	9 652 608	1 346 544	983 664	2 225 232	18 725 904	4 044 816
octobre	361 554	3 205 382	490 712	361 554	1 025 526	8 160 288	1 290 088
novembre	85 536	505 440	116 640	85 536	191 808	2 654 208	349 920
décembre	85 536	505 440	116 640	85 536	191 808	2 654 208	349 920

Tableau 2 : Irrigations dans la plaine de la Crau, volumes mensuels en m³.

A partir de ces données on a calculé les hauteurs d'eau (en mm) représentant l'apport à la nappe par infiltration, en supposant comme valeur de départ un pourcentage de 30 % du total des apports d'eau depuis la Durance.

Ces valeurs mensuelles pour chaque zone sont résumées dans le tableau 3.

ZONE - MOIS	SALON (OGA)	CONGRES CANALET	EYGUIERES (OGC)	EYGUIERES (OGA)	VALLEE BAUX	ARLES + SECOURS	ISTRES (OGC)
janvier	3	3	6	5	6	8	8
février	3	3	6	5	6	8	8
mars	14	22	25	21	30	23	35
avril	37	64	67	57	65	55	93
mai	69	121	124	105	120	109	172
juin	66	117	120	101	116	106	166
juillet	69	121	124	105	120	109	172
août	69	121	124	105	120	109	172
septembre	37	64	67	57	65	55	93
octobre	14	21	25	21	30	24	30
novembre	3	3	6	5	6	8	8
décembre	3	3	6	5	6	8	8
Moyenne	32	56	58	49	58	52	81

Tableau 3 : Alimentation de la nappe par infiltration des irrigations

Pour chaque zone l'infiltration mensuelle moyenne sur l'année 1992 a été également calculée. Afin de simuler en régime permanent moyen un débit total de retour par irrigation équivalent à celui simulé sur le modèle de 1984, on a été amené à réduire le pourcentage retour à la nappe / débit d'irrigation de 30 à 29 %.

2.7.3. Irrigations à partir des eaux souterraines

Les vergers du Sud de la Crau (environ 1000 hectares) sont irrigués, de mars à septembre, par pompage dans la nappe. L'irrigation se pratiquant par la méthode du goutte à goutte, nous avons considéré que le retour à la nappe par infiltration était pratiquement nul dans ces secteurs.

2.8. RECHARGE DE LA NAPPE PAR INFILTRATION DES PLUIES

Afin d'estimer et de simuler la recharge de la nappe par infiltration des pluies, les données suivantes, fournies par le Centre METEO FRANCE d'Aix-en-Provence, ont été utilisées :

- pluies journalières enregistrées à la station de Salon-de-Provence, du 01.01.87 au 31.12.93,
- ETP (évapotranspirations potentielles) décadaires calculées à la station de Marignane, du 01.01.87 au 30.06.93, et à celle de Salon, du 01.07.93 au 31.12.93.

Le logiciel GARDENIA (modélisation hydrologique globale) a été utilisé pour calculer à partir de ces données les évaporations réelles (ETR), les pluies efficaces et les recharges de la nappe par infiltration, cela par calage sur les variations de niveau du piézomètre P29 Istres. Ce piézomètre a été choisi parce qu'étant éloigné des zones d'irrigation il réagit essentiellement aux pluies. La simulation a été faite sur la période de janvier 1987 à décembre 1993 avec un pas de temps décadaire. La réserve superficielle du sol a été fixée au départ à 40 mm, et le modèle, qui fonctionne en optimisation automatique, a abaissé cette valeur à 30 mm.

Les différents graphiques de résultats du modèle GARDENIA se trouvent sur les figures 13 à 18 :

- fig.13 : variations observées et simulées du piézomètre P29 (calage),
- fig.14 : variations de hauteur d'eau dans la réserve superficielle,
- fig.15 : comparaison Pluie-ETP,
- fig.16 : comparaison ETR-ETP,
- fig.17 : comparaison Pluie efficace-Pluie,
- fig.18 : comparaison Recharge-Pluie.

Remarque 1 : le pas de calcul du modèle est décadaire, mais les sorties graphiques sont au pas de temps mensuel,

Remarque 2 : la simulation a été faite en supposant un ruissellement nul (faibles pentes et fortes perméabilités du sol). Les différences entre pluies efficaces et recharges représentent une reprise par évapotranspiration dans la zone non saturée en dessous de la réserve superficielle.

Les valeurs mensuelles de recharge ainsi calculées et qui ont été ensuite introduites dans le modèle MARTCRAU sont résumées dans le tableau 4 qui montre, pour la période 1987-1993, une recharge maximale de 127 mm en 1993, et une recharge minimale de 9 mm en 1992.

Mois	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
janvier	14	32	0	4	10	5	0
février	18	29	0	1	7	0	0
mars	8	5	0	0	12	0	0
avril	2	2	0	1	0	0	10
mai	0	1	1	0	0	1	18
juin	0	0	0	0	1	0	0
juillet	0	0	0	1	0	0	0
août	0	1	0	0	0	0	0
septembre	2	0	0	0	8	1	12
octobre	33	17	0	10	22	1	31
novembre	22	12	4	8	18	1	31
décembre	23	5	10	14	10	0	24
Total annuel	122	104	15	39	88	9	127

Tableau 4 : Recharge de la nappe par infiltration des pluies(mm de hauteur d'eau)

2.9. PRELEVEMENTS

Prélèvements pour les AEP et AEI

Pour le calage du modèle en régime transitoire (période 1987-1993) les débits des ouvrages d'exploitation de la nappe de la Crau ont été supposés ne pas varier en fonction du temps et être égaux à ceux de 1992 (AEP = alimentation en eau potable, AEI = alimentation en eau industrielle, AEA = alimentation en eau agricole c.à d. irrigation ou élevage).

Ils ont été obtenus par comparaison, recoupement et regroupement des informations concernant les prélèvements dans les documents suivants :

- liste des ouvrages et volumes prélevés en 1992 (données de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse),
- tableau des prélèvements permanents contenu dans le rapport Géohydraulique de mai 1968,
- tableau des prélèvements en Crau figurant dans le rapport 84 SGN 013 PAC du BRGM,
- banque des données du sous-sol du BRGM (BSS),
- enquêtes directes du Service géologique régional Provence-Alpes-Côte d'Azur du BRGM auprès de certains exploitants,
- cartes du rapport "Nappe de basse Crau. Niveaux et salinités depuis 25 ans" 5324/C2116 du CERIC.

Les coordonnées géographiques des ouvrages (carroyage Lambert II) ont été prises en BSS ou fournies par l'Agence de l'Eau RMC.

Les mailles du modèle ont été affectées d'un débit sortant égal à la somme des débits prélevés par les ouvrages leur appartenant géographiquement (tableau 5, figure 19 et annexe 3).

Les prélèvements par pompages pour les AEP et AEI représentent un débit total de l'ordre de 6 700 m³/h, soit 1,9 m³/s.

Prélèvements pour l'irrigation (AEA)

Les pompages pour l'irrigation des vergers dans la partie SW de la plaine ont été simulés uniquement de mars à septembre (débits constants), et de même pour les 7 années simulées.

Le nombre et la localisation exacte de ces forages ne sont pas connus.

D'après les superficies irriguées le débit total pompé a été estimé à 600 m³/h.

Ces pompages ont été répartis sur 20 mailles distribuées régulièrement à l'intérieur de la zone irriguée, un débit de 30 m³/h étant prélevé sur chacune des mailles.

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Coordonnées centre maille (Lambert II)		Identification ouvrage en BSS			Description	Débit maille m ³ /h
X	Y					
794.25	143.25	0993	5X	75	AEP - Mas Thibert	76
794.25	151.25	993	5X	16/134	AEP - Raphèle et St Hippolyte	1 029
794.75	150.25	0993	5X	49	Mas du Moulin	5
795.25	143.25	993	5X	62	Irrigation	271
797.25	148.25	0993	6X	80	AEP Cité Dynamite	24
797.25	148.75	0993	6X	79	AEP Cité Dynamite	3
797.75	151.25	0993	6X	111	AEP Zone Industrielle	4
798.75	146.75	0993	6X	53	SP Aulnes	50
799.75	153.25	993	2X	185	Irrigation (6 mois/an)	23
800.25	152.25	0993	6X	99	AEP Lion d'Or	122
803.75	136.75	1019	2X	15	Irrigation	10
804.25	134.25	1019	3X	49/87	AEP Port St Louis du Rhône	350
805.75	147.75	993	7X	86/87	Irrigation-Incendie	34
806.75	132.25	1019	7X	99	SOLLAC.	43
807.25	154.75	993	3X	53	AEP Mas de Payan	13
807.75	133.75	1019	3X	76	AEP Z.I. de Fos	3
808.75	132.75	1019	7X	184	Industriel et Incendie	17
808.75	141.75	1019	3X	30	AEP P.A.M.	15
809.25	135.25	1019	3X	89	AEP Z.I. de Fos	305
809.25	136.25	1019	3X	121	AEP Port de Bouc	308
809.25	156.25	993	3X	5/82	AEP Aureille	27
809.75	136.25	1019	3X	115	AEP Port de Bouc	33
810.25	130.75	1019	7X	40/152	Industriel. Collet	10
810.25	135.75	1019	3X	88	Industriel	245
810.75	149.25	993	8X	21	Irrigation E.R.G.M.	126
811.25	136.25	1019	3X74/4X173		Industrie C.F.R.	370
811.25	137.75	1019	4X	0087	AEP Base d'Istres 125 et C.E.V.	25
811.25	153.25	0993	8X	0127	Ferme Marchal	53
811.75	139.25	1019	4X	84	Industriel et domestique	105
811.75	140.75	1019	4X	151/212	Puits captage nappe Crau	987
811.75	145.75	0993	8X	0126	Hameau d'Entressen	29
812.75	136.25	1019	4X	51	AEP et AEI Rassuen	5
813.25	145.25	993	8X	75	C.E.A.	55
813.75	145.25	993	8X	100/157	AEP Miramas-Sulauze	885
813.75	145.75	993	8X	76/103	SNCF- Ateliers de Provence	52
813.75	147.75	0993	8X	17	AEP E.R.G.M.	11
814.75	145.75	993	8X	66	Incendie. Antargaz Miramas	50
817.75	158.75	0993	4X	39	AEP Eyguières	25
818.25	158.25	994	1X	225	AEP Eyguières	53
818.75	150.25	994	5X	50	AEP Grans	68
820.75	156.75	0994	1X	30	Château de Richebois	150
821.25	156.25	0994	1X	170	Mas Faure	4
821.75	155.75	994	1X	78	AEP Salon	131
822.75	150.75	994	5X	49	AEP B.A. Salon	500

Tableau 5 : Prélèvements dans la nappe de la Crau (débits imposés par maille)

3. CALAGE DU MODELE EN REGIME PERMANENT

Le calage du modèle MARTCRAU en régime permanent a été fait en se référant à la piézométrie de juillet 1982. Cet état piézométrique ne correspond certes pas un état permanent, lequel d'ailleurs n'existe pas réellement et tout au plus pourrait être défini comme un état "moyen".

3.1 PREMIERES SIMULATIONS

En été de chaque année la piézométrie de la partie NE de la Crau est en situation de hautes eaux du fait des irrigations, la partie SW est en situation de basses eaux. En hiver c'est l'inverse. L'état "moyen" correspondrait donc plutôt aux saisons intermédiaires, printemps ou automne. La piézométrie de juillet 1982 est par contre la piézométrie la plus récente établie à partir d'une campagne complète de mesures.

La recharge par les pluies a été imposée avec une valeur uniforme de 8,5 mm comme moyenne mensuelle, soit 102 mm/an, cela représentant sur toute la zone d'étude un débit moyen d'apport à la nappe de 1,8 m³/s équivalent à celui simulé sur le précédent modèle.

Les surplus d'irrigation qui constituent la recharge principale de la nappe à partir des eaux de la Durance ont été d'abord supposés représenter 30 % des volumes totaux des eaux de la Durance transférés dans la plaine de la Crau. Les valeurs moyennes mensuelles (mm) pour chacune des 7 zones sont les suivantes :

Zone 1 SALON (OGA)	Zone 2 CONGRES CANALET	Zone 3 EYGUIERES (OGC)+JC	Zone 4 EYGUIERES (OGA)	Zone 5 VALLEE DES BAUX	Zone 6 ARLES + SECOURS	Zone 7 ISTRES (OGC)
32	56	58	49	58	52	81

Ces valeurs ont ensuite été réduites de 30 à 29 % afin de simuler un débit total d'apport de 3,7 m³/s égal à celui pris en compte sur le modèle de 1984, ce débit représente donc 60 % des apports globaux à la nappe.

Les prélèvements par pompages ont été imposés à partir du recensement actuel, mais en réduisant uniformément les débits de manière à prélever un débit total de 1,3 m³/s correspondant également à la situation en 1982 (simulée sur le modèle de 1984).

Après 13 simulations correspondant à des modifications successives de certaines valeurs de perméabilité, le calage a été considéré comme satisfaisant et a conduit à la piézométrie représentée sur la figure 20 en superposition avec celle de juillet 1982.

Le bilan obtenu se trouve dans le tableau 6 ci-après comparé à celui du modèle de 1984. Les bilans calculés par les deux modèles sont donc sensiblement voisins.

Il n'a pas été possible de supprimer complètement les débordements que le modèle actuel affiche dans une centaine de mailles. Pour ce faire, il faudrait augmenter les transmissivités dans une trop forte proportion, soit en augmentant les valeurs des perméabilités (déjà fortes), soit en abaissant encore la cote du substratum, ou encore en limitant les apports par irrigation.

Nous avons préféré, du moins pour l'instant, laisser subsister ces débordements, qui toutefois ont été identifiés sur le terrain dans les secteurs de Saint Martin de Crau, Vergières, des étangs d'Entressen et des Aulnes... Ils sont peut-être évités dans d'autres secteurs par le fait d'un drainage des canaux partant des environs de l'étang d'Entressen et se dirigeant l'un vers le canal du Vigueirat, l'autre vers Istres.

Les débits de débordements indiqués par le modèle (soit 1,4 m³/s) correspondraient dans ce cas aux débits de drainage.

Calculé par le modèle, le total des débits entrant par les limites NE de la nappe est de 0,7 m³/s.

unités : m ³ /s	Modèle de 1984		Modèle actuel	
	Entrées	Sorties	Entrées	Sorties
Infiltration Pluie	1,8		1,8	
Surplus irrigations	3,7		3,7	
Prélèvements		1,3		1,3
Flux aux limites	0,9	5,1	0,7	3,5
Débordements				1,4
TOTAL	6,4	6,4	6,2	6,2

Tableau 6 : Comparaison du bilan moyen de la nappe sur le modèle de 1984 et sur le modèle actuel (prélèvements de 1982)

3.2 AUTRE SIMULATION

Une autre simulation en régime permanent a été faite en imposant les débits de pompage actuels, soit un total de 1,9 m³/s (données de 1992).

La carte piézométrique résultante est présentée à la figure 21, et le bilan correspondant est résumé dans le tableau ci-dessous, en comparaison avec le bilan simulé avec les prélèvements de 1982.

unités : m ³ /s	avec les prélèvements de 1982		avec les prélèvements de 1992	
	Entrées	Sorties	Entrées	Sorties
Infiltration Pluie	1,8		1,8	
Surplus irrigations	3,7		3,7	
Prélèvements		1,3		1,9
Flux aux limites	0,7	3,5	0,8	3,1
Débordements		1,4		1,3
TOTAL	6,2	6,2	6,3	6,3

Tableau 7 : Comparaison des bilans moyens de la nappe sur le modèle actuel (prélèvements de 1982 et prélèvements de 1992)

L'augmentation des prélèvements de 0,6 m³/s (données de 1992) se traduit dans le modèle actuel par une diminution du flux sortant (0,4 m³/s), par des débordements (0,1m³/s) et par une augmentation du flux entrant (0,1 m³/s).

La localisation des mailles à débordement est représentée sur la figure 22. La somme de ces débits de débordement est de 1,3 m³/s.

Les débits de sortie simulés (autres que les débordements) se décomposent comme suit (en m³/s) :

- canal du Vigueirat :	1,8
- tranchée de Fos :	0,8
- limite Nord :	0,3
- étang d'Entressen :	0,09
- étang des Aulnes :	0,05
- vallée de la Touloubre :	0,05
Total :	3,1 m³/s

Remarque :

Les potentiels (cotes topographiques) ont été imposés sur les 6 mailles correspondant aux étangs des Aulnes et d'Entressen (3+3) qui doivent constituer un exutoire partiel de la nappe par évaporation.

Les débits de sortie calculés par le modèle correspondraient dans ce cas à une ETR d'environ 1,4 m/an pour l'étang des Aulnes, ce qui paraît dans les normes, et de 2,7 m/an pour celui d'Entressen, cette valeur étant par contre excessive.

4. CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE

Le calage du modèle en régime transitoire a été effectué sur la période janvier 1987 - décembre 1993 avec un pas de temps mensuel.

Afin de reproduire des variations piézométriques les plus proches possibles de celles enregistrées sur les 27 piézomètres de référence, 8 simulations ont été faites, chacune accompagnée de modifications des coefficients d'emmagasinement.

Les valeurs de départ des coefficients d'emmagasinement (celles du modèle de 1984) varient de 2.5 à 18%. De manière générale nous avons été amenés à réduire ces valeurs, et cela jusqu'à 1% dans certaines zones (figure 10). En effet la plupart des amplitudes des fluctuations piézométriques simulées étaient nettement inférieures à celles observées. Nous avons cependant considéré la valeur de 1% comme une limite inférieure du coefficient d'emmagasinement.

De manière inverse, dans la zone au SE de l'étang d'Entressen, les amplitudes des variations piézométriques simulées étaient supérieures à celles observées. Les coefficients d'emmagasinement ont été par conséquent augmentés, mais là aussi nous nous sommes limités à la valeur maximale de 18%.

Nous n'avons pas modifié les infiltrations par les pluies calculées par le modèle GARDENIA, ni celles provenant des irrigations et représentant donc pour chaque mois 29 % des débits d'irrigations communiqués par la DDAF d'Arles.

La superposition des historiques de charges simulées et observées pour chacun de ces piézomètres se trouve sur les figures 25 à 51.

La validité et la précision du calage peuvent s'apprécier selon les quatre critères suivants :

- **synchronisme** des fluctuations piézométriques, avec les pics et les creux des historiques simulés et observés qui doivent être le plus possible en phase,
- comparaison des **amplitudes des fluctuations** piézométriques simulées et observées, qui sont essentiellement saisonnières pour cette nappe,
- comparaison des **cotes piézométriques moyennes** simulées et observées (ou moyennes des pics, ou des creux),
- existence ou non d'une **dérive générale** de la cote piézométrique simulée par rapport à celle observée sur la totalité de la période simulée.

Sur l'ensemble des piézomètres de référence les **variations piézométriques simulées sont en concordance de phase satisfaisante avec les variations observées**. Sur quatre piézomètres : Arles P45, Istres P19, Istres P21 et St.Martin de Crau P23, le synchronisme est beaucoup moins bon, les déphasages pouvant atteindre plusieurs mois.

Les amplitudes des fluctuations piézométriques simulées sont commentées ci-après :

- en 5 points d'observation : Arles P45, P9 et P13, St.Martin P20 et Salon P48, elles sont très voisines des amplitudes observées,
- en 7 points : Istres P19, P21, P29, St. Martin P23b, Aureille P4, Eyguières P4 et P1, elles sont parfois du même ordre de grandeur, mais peuvent pour certaines périodes différer jusque dans un rapport voisin de 2,
- en 2 points : Istres P8 et P2, les amplitudes des variations simulées sont de 2 à 3 fois trop fortes,
- pour les 13 autres piézomètres, elles se situent en général à la moitié des amplitudes observées, et pour 3 d'entre eux : Arles P21, Miramas P5 et Grans P7, elles sont 3 à 4 plus faibles.

Pour le piézomètre Arles F18 le rapport est encore plus grand (supérieur à 10), mais il faut noter que pour ce piézomètre proche de l'exutoire de la nappe au SE de la plaine, les variations observées sont faibles (en général inférieures à 0,5 m), et que la maille correspondante du modèle se trouve entourée de trois mailles à potentiel imposé.

La **comparaison des cotes piézométriques moyennes** simulées et observées montre que pour la majorité des piézomètres (23) les décalages n'excèdent pas 2 mètres.

Pour les piézomètres Arles P45, St.Martin P23, Miramas P5 et Eyguières P1 (cote topographique de ce dernier rectifiée par estimation), le décalage atteint 4, voire 5 mètres.

Pour la presque totalité des piézomètres, on ne constate **aucune dérive générale** de la piézométrie simulée par rapport à celle observée.

Seuls les piézomètres Istres P8 et P29 montrent une légère dérive relative :

- au piézomètre P8, la piézométrie observée est stable. La piézométrie simulée a une tendance générale à la baisse, mais supérieure de 2 m au départ, elle tend à rejoindre en fait la piézométrie observée. Seule une extension du régime transitoire pourrait permettre de savoir si cette dérive se continue. Sur les sept années considérées cette dérive est d'environ 1,5 m,
- au piézomètre P29, la piézométrie observée indique une légère tendance à la baisse. La piézométrie simulée présente une tendance plus marquée à la baisse, mais là aussi, supérieure de 2 m au départ, elle tend à rejoindre la piézométrie observée, et en fait évolue assez parallèlement à partir de novembre 1990.

Sur les piézomètres Miramas P5, Grans P7, et sur les trois piézomètres BRGM, la tendance générale des niveaux est à la baisse, elle se retrouve sur la piézométrie simulée.

La piézométrie simulée en régime transitoire qui correspond au mois de juillet 1993 est reportée sur la figure 23 en superposition avec celle observée en juillet 1982.

La localisation des mailles à débordement qui correspond à l'état piézométrique simulé pour juillet 1988 est représentée sur la figure 24.

CONCLUSION

L'actualisation du modèle de la nappe de la Crau comprend **deux phases** :

- une **phase A**, consacrée à l'acquisition de données nouvelles, à la mise en forme de ces données, et au **calage du modèle**,
- une **phase B**, qui va nous permettre d'effectuer des applications spécifiques en matière de **gestion quantitative et qualitative** de la ressource en eau de cet aquifère.

Outre l'utilisation d'un nouveau logiciel (MARTHE) en version PC, **les modifications suivantes par rapport aux versions précédentes ont été adoptées** :

- orientation et numérotation du maillage suivant les coordonnées Lambert,
- adoption d'un maillage plus serré : 500 m de coté,
- prise en compte des cotes du substratum et des perméabilités,
- utilisation des cotes topographiques fournies par un modèle numérique de terrain (MNT),
- actualisation des prélèvements par pompages : données de 1992,
- actualisation des débits d'irrigation avec distinction de sept zones à modules différents,
- calcul de la recharge par infiltration des pluies sur la période 1987-1993, à l'aide d'un modèle hydrologique global.

Au cours de la phase A présentée ici, un nouveau calage du modèle en régime permanent moyen a été effectué, de même qu'un calage en régime transitoire sur la période 1987-1993, avec un pas de temps mensuel.

La prise en compte des cotes du substratum et des perméabilités, en remplacement des transmissivités utilisés dans les modèles précédents, a mis en évidence quelques incompatibilités entre les données existantes. Les épaisseurs de l'aquifère jusqu'ici admises ont dû être sensiblement augmentées afin de rendre compatibles les autres données avec la piézométrie moyenne observée et en rapport avec les fluctuations saisonnières relativement importantes qui ont été mesurées. Une incertitude demeure sur les cotes réelles du substratum et ne pourrait être levée, du moins en certains secteurs, que par la réalisation de quelques forages plus profonds.

L'état actuel du modèle laisse également supposer -de par la persistance de débordements en certaines mailles- que les canaux du centre de la plaine ont un certain rôle effectif de drainage. Cette présomption demande une vérification sur le terrain qui pourrait être réalisée par des mesures de niveau sur ces canaux (ou par des jaugeages différentiels) et éventuellement par des opérations de traçage.

Le modèle MARTCRAU pourra, tout en gardant sa structure actuelle, être rectifié et amélioré à tout moment avec l'intégration des données de terrain nouvellement acquises (phase B).

Il est également prévu, au cours de cette deuxième phase d'utilisation du modèle de procéder :

- à des **simulations sur la gestion des exploitations de la nappe de la Crau**, à des fins d'AEP, d'AEI et d'irrigation,
- à l'**analyse de transferts de pollutions éventuelles en certains secteurs réputés sensibles**,
- à l'**extension du modèle à sa partie captive au SW**, de manière à pouvoir simuler l'évolution du biseau salé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALLAIRE J. (1977). - Plaine de Crau - Etude géophysique. - Mairie de Saint Martin de Crau - B.E.G., rapport R. 353/1977.

BONNET M., RAVANT D. (1968). - Méthodologie d'emploi des simulateurs d'écoulement pour l'étude des nappes souterraines. Application à la nappe de la Crau. - GEOHYDRAULIQUE - D.G.R.S.T., action concertée "EAU" 1967 - 1968.

CHAPOT P. (1965). - Etude hydrogéologique de la Crau Pliocène. DDA 13. Rapport C.P.G.F. 06.65

CLOUET D'ORVAL M. (1972). - Etude de l'infiltration dans les nappes libres. Essai d'identification automatique par modèles inverses. Application à la nappe de la Crau. D.G.R.S.T., action concertée "EAU" - BRGM, rapport SGN 112 AME.

CLUSEAU R. (1962). - Etude géophysique de la nappe de la Crau dans la région de Fos-sur-Mer. - BRGM, rapport DS 62 A 46.25.

DDA 13, Service du Génie Rural d'Arles (1982). - Les recherches d'eau dans l'arrondissement d'Arles. Ministère de l'Agriculture. Rapport DDA 13, janvier 1982.

DDA. - (1970). - Camargue : Etude hydrogéologique, pédologique et de salinité. Ministère de l'Agriculture - DATAR, rapport DDA 13, mai 1970.

DELLERY B., DUROZOY G., KUCHARSKA J., GOUVERNET C., MARGAT J. (1964). - Etude hydrogéologique de la Crau. BRGM, rapport SGR 64 A 49.

GLINTZBOECKEL Ch. (1974). - Etude de synthèse des formations anciennes du delta du Rhône - Notes provisoires et canevas du rapport en projet. Note BRGM 74 32.

GRAVOST M. (1984). - Nappe de Crau. Actualisation du modèle de gestion. - BRGM, rapport 84 SGN 013 PAC.

GRAVOST M., VADON J. (1990). - Surveillance de la qualité des eaux de la nappe de la Crau. Observations effectuées en 1989. - BRGM, rapport R 30679 PAC 4S 90.

MARINOS P. (1968). - Etudes hydrogéologiques en Camargue . - Thèse ing. doc. Fac. Sciences, Université de Grenoble.

PETIT V. (1980). - Etude et modélisation de la variabilité de l'évapotranspiration réelle. Application au bilan hydrologique de la plaine de la Crau. - Thèse de Doctorat de 3^e Cycle. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

PORT AUTONOME DE MARSEILLE, FOS-sur-MER (1993). - Nappe de Basse Crau. Niveaux et salinités depuis 25 ans. Rapport de synthèse. Rapport 5324 / C2116.

PUTALLAZ J. (1973). - Evaluation des ressources hydrauliques. Nappe de la Crau. Notice explicative de la carte de la vulnérabilité à la pollution. - Ministère du Développement Industriel et Scientifique. - BRGM, rapport 73 SGN 420 PRC.

PUTALLAZ J., ROUSSELOT D. (1972). - Nappe de la Crau. Modèle mathématique transitoire. - BRGM, rapport 72 SGN 022 PRC-JAL

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Extension et limites de la plaine de la Crau
- Figure 2 - Schéma géologique et hydrogéologique
- Figure 3 - Contexte géographique et maillage du modèle
- Figure 4 - Isohypses de la surface topographique
- Figure 5 - Mailles à niveau piézométrique sous le premier substratum envisagé (déduit de la carte des épaisseurs des cailloutis)
- Figure 6 - Isohypses du substratum déduit de la carte des épaisseurs des cailloutis
- Figure 7 - Isohypses du substratum simulé
- Figure 8 - Localisation des piézomètres de référence
- Figure 9 - Champ des perméabilités simulées
- Figure 10 - Champ des coefficients d'emmagasinement simulés
- Figure 11 - Carte des périmètres irrigués établie à partir de l'image SPOT
- Figure 12 - Zones d'irrigations à différents modules
- Figure 13 - Calcul de la recharge par les pluies, variations (observée et simulée) du piézomètre P29
- Figure 14 - Calcul de la recharge par les pluies, variations de hauteur d'eau dans la réserve superficielle
- Figure 15 - Calcul de la recharge par les pluies, comparaison Pluie-ETP
- Figure 16 - Calcul de la recharge par les pluies, comparaison ETR-ETP
- Figure 17 - Calcul de la recharge par les pluies, comparaison Pluie efficace-Pluie
- Figure 18 - Calcul de la recharge par les pluies, comparaison Recharge-Pluie
- Figure 19 - Localisation des prélèvements
- Figure 20 - Calage en régime permanent, charges simulées (avec pompages de 1982) et charges observées en Juillet 1982
- Figure 21 - Régime permanent, charges simulées (avec pompages de 1992) et charges observées en Juillet 1982
- Figure 22 - Régime permanent, localisation des mailles à débordement
- Figure 23 - Calage en régime transitoire, charges simulées en Juillet 1993 et observées en Juillet 1982
- Figure 24 - Calage en régime transitoire, localisation des mailles à débordement (correspondant à l'état piézométrique simulé de juillet 1988)
- Figures 25 à 51 - Calage en régime transitoire, comparaison des variations piézométriques simulées et observées sur les 27 piézomètres de référence (de 1987 à 1993)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coordonnées des piézomètres utilisés pour le calage du modèle.....	8
Tableau 2 : Irrigations dans la plaine de la Crau, volumes mensuels en m ³	10
Tableau 3 : Alimentation de la nappe par infiltration des irrigations	11
Tableau 4 : Recharge de la nappe par infiltration des pluies(mm de hauteur d'eau).....	12
Tableau 5 : Prélèvements dans la nappe de la Crau (débits imposés par maille).....	14
Tableau 6 : Comparaison du bilan moyen de la nappe sur le modèle de 1984 et sur le modèle actuel (prélèvements de 1982).....	16
Tableau 7 : Comparaison des bilans moyens de la nappe sur le modèle actuel (prélèvements de 1982 et prélèvements de 1992).....	17

=====

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : NOMENCLATURE DES FICHIERS DU MODELE

ANNEXE 2 : OUVRAGES RECENSES COMME ATTEIGNANT LE SUBSTRATUM DE LA NAPPE
DE LA CRAU

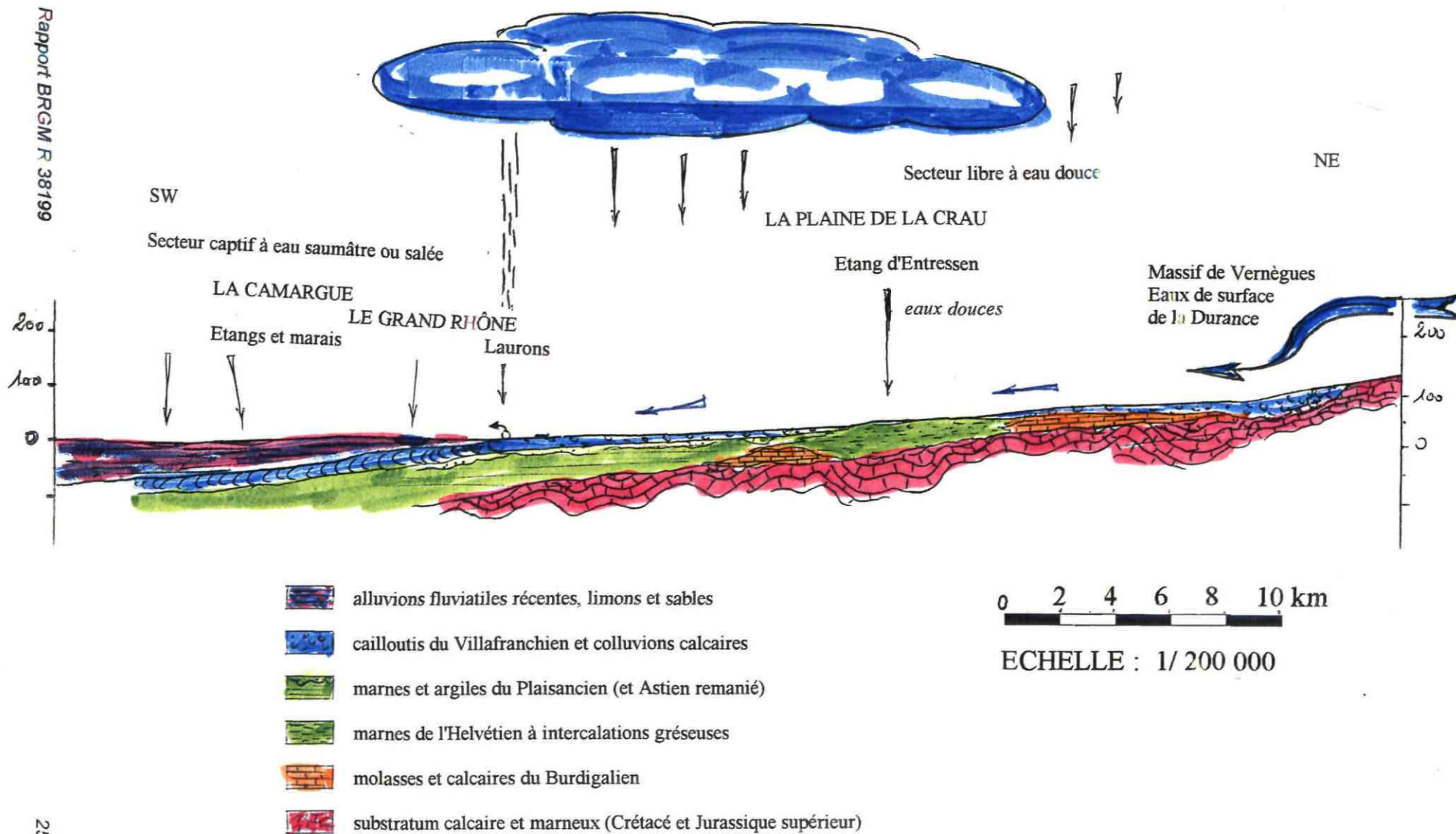
ANNEXE 3 : REPARTITION DES PRELEVEMENTS EN FONCTION DES USAGES D'AEP, AEI ET
AEA (voir figure 19)



Figure 1 - EXTENSION ET LIMITES DE LA PLAINE DE LA CRAU

"MARTICRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Extrait de carte IGN, édition de 1986



"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Figure 2 - SCHEMA GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

NAPPE DE LA CRAU - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MAILLAGE DU MODELE

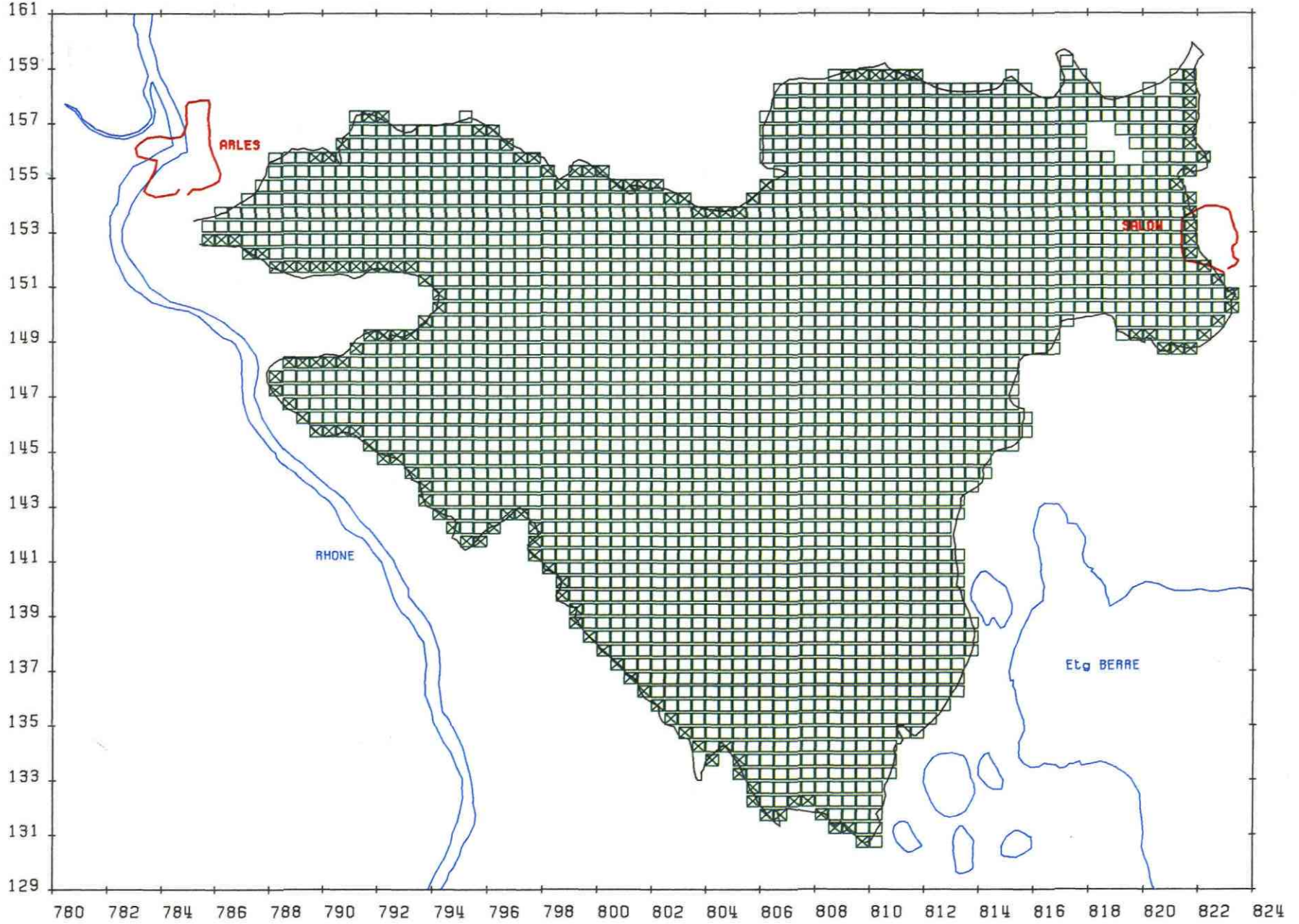


Figure 3 : Nappe de la Crau. Contexte géographique et maillage du modèle

MODELE DE LA NAPPE DE LA CRAU - ISOCOUBRES DE LA SURFACE TOPOGRAPHIQUE

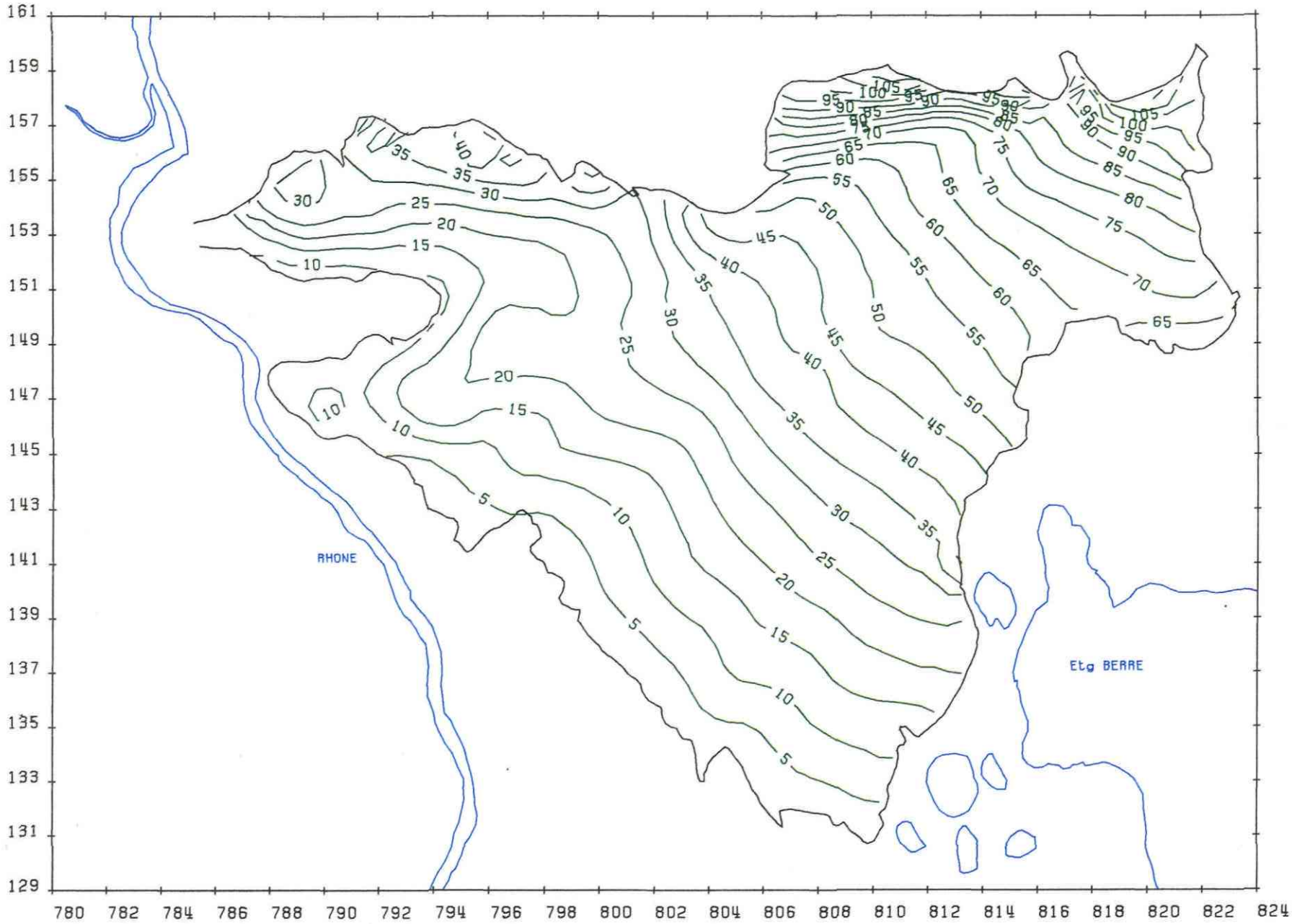


Figure 4 : Isohysses de la surface topographique

MAILLES A NIV EAU SOUS SUBSTRATUM TIRE DE CARTE EPAISSEUR CAILLOUTIS

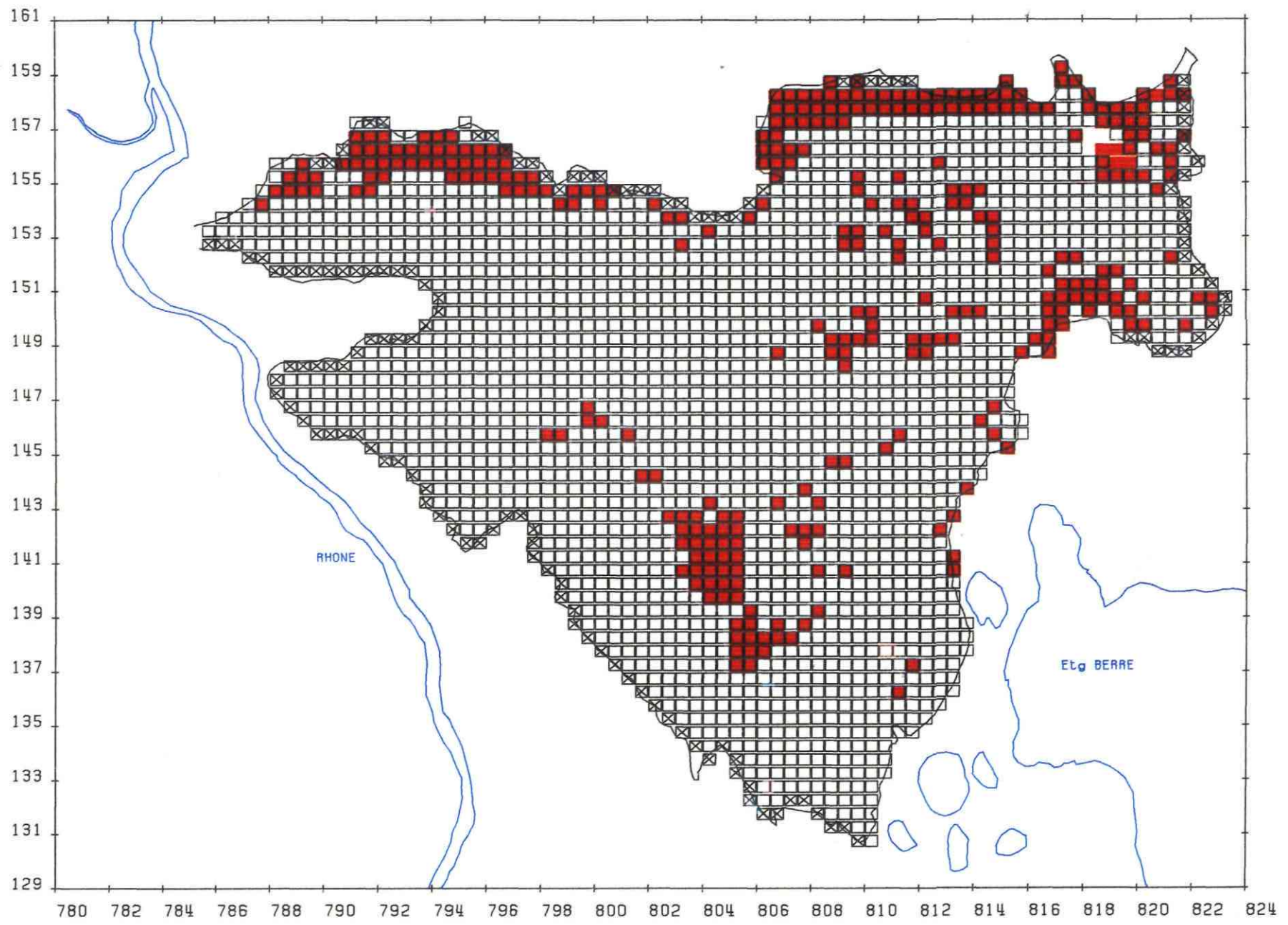


Figure 5 : Mailles à niveau piézométrique sous le premier substratum envisagé (dédit de la carte des épaisseurs des cailloutis)

ISOHYPSES DU SUBSTRATUM DEDUIT DE LA CARTE D'ÉPAISSEUR DES ALLUVIONS

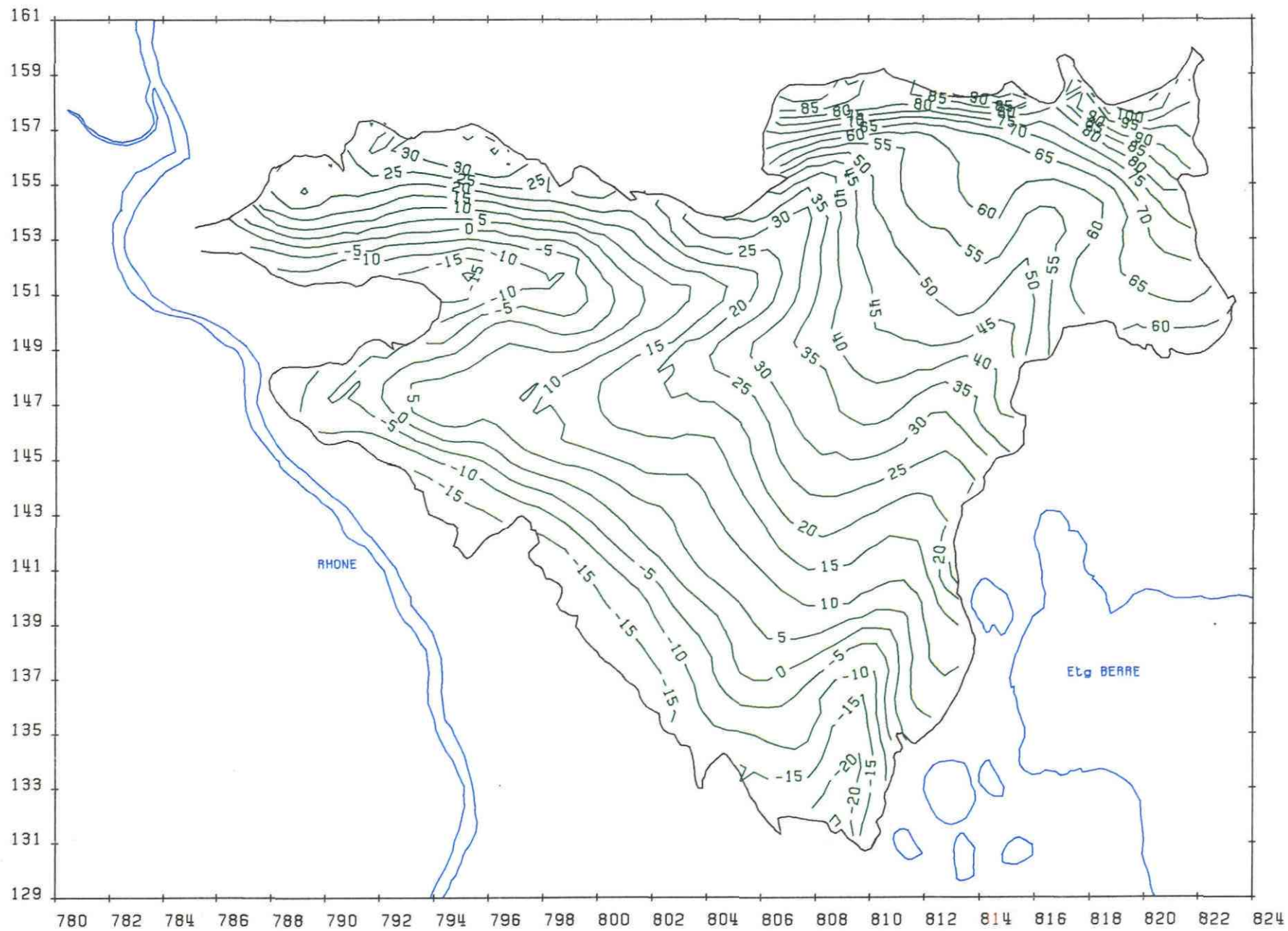


Figure 6 : Isohypses du substratum déduit de la carte des épaisseurs des cailloutis

MODELE DE LA NAPPE DE LA CRAU - ISOHYPSES DU SUBSTRATUM SIMULE - 1/200.000

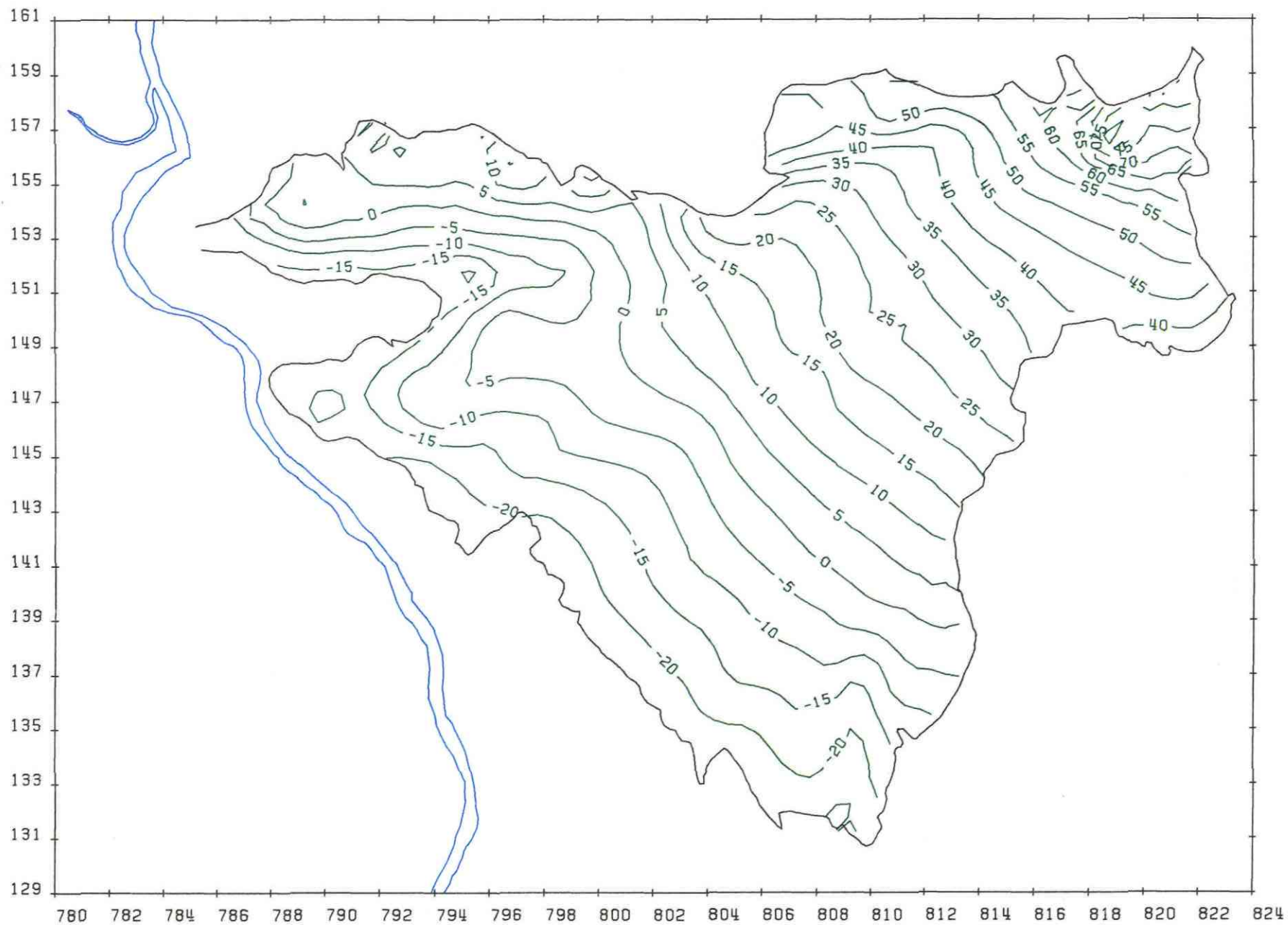
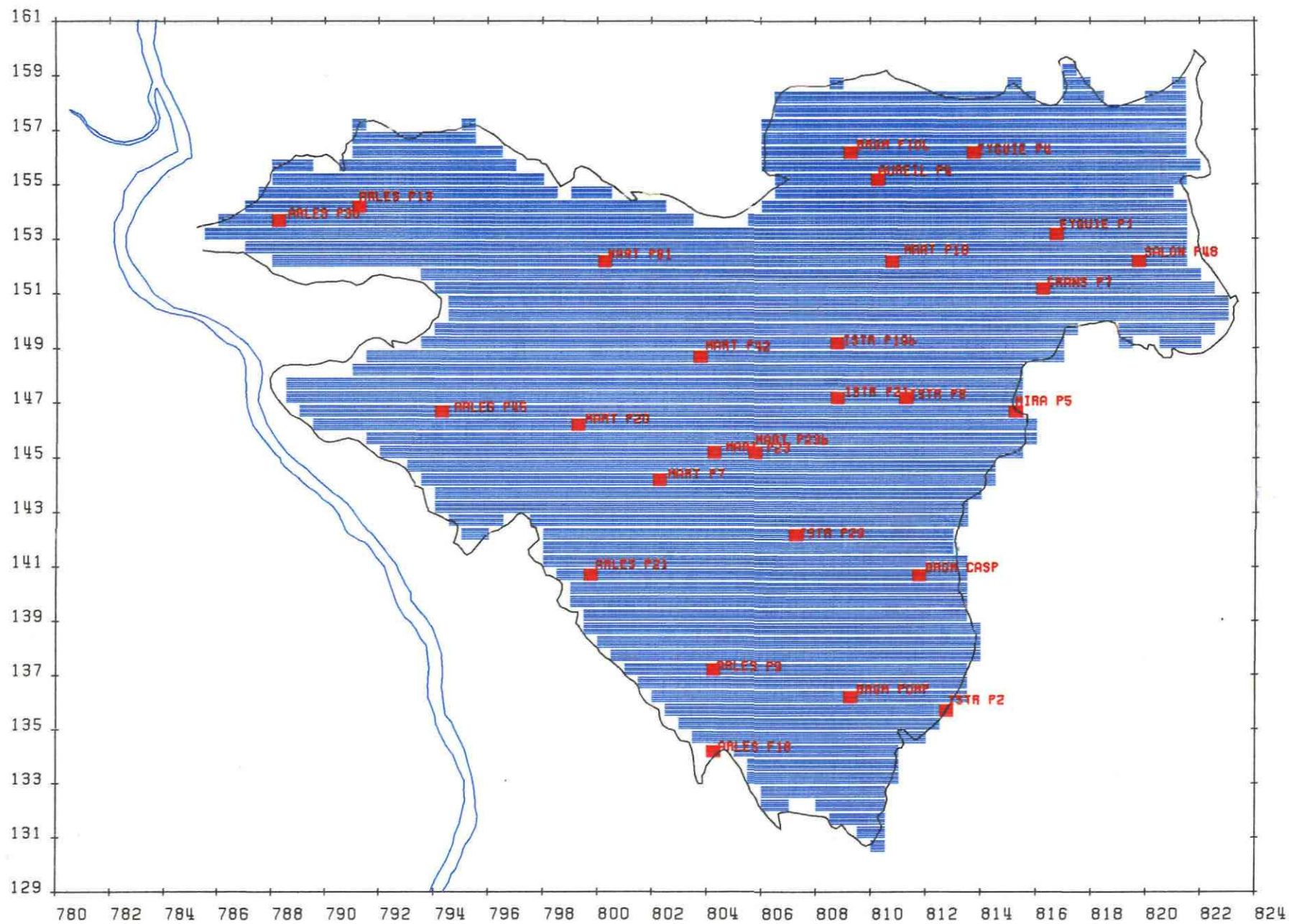
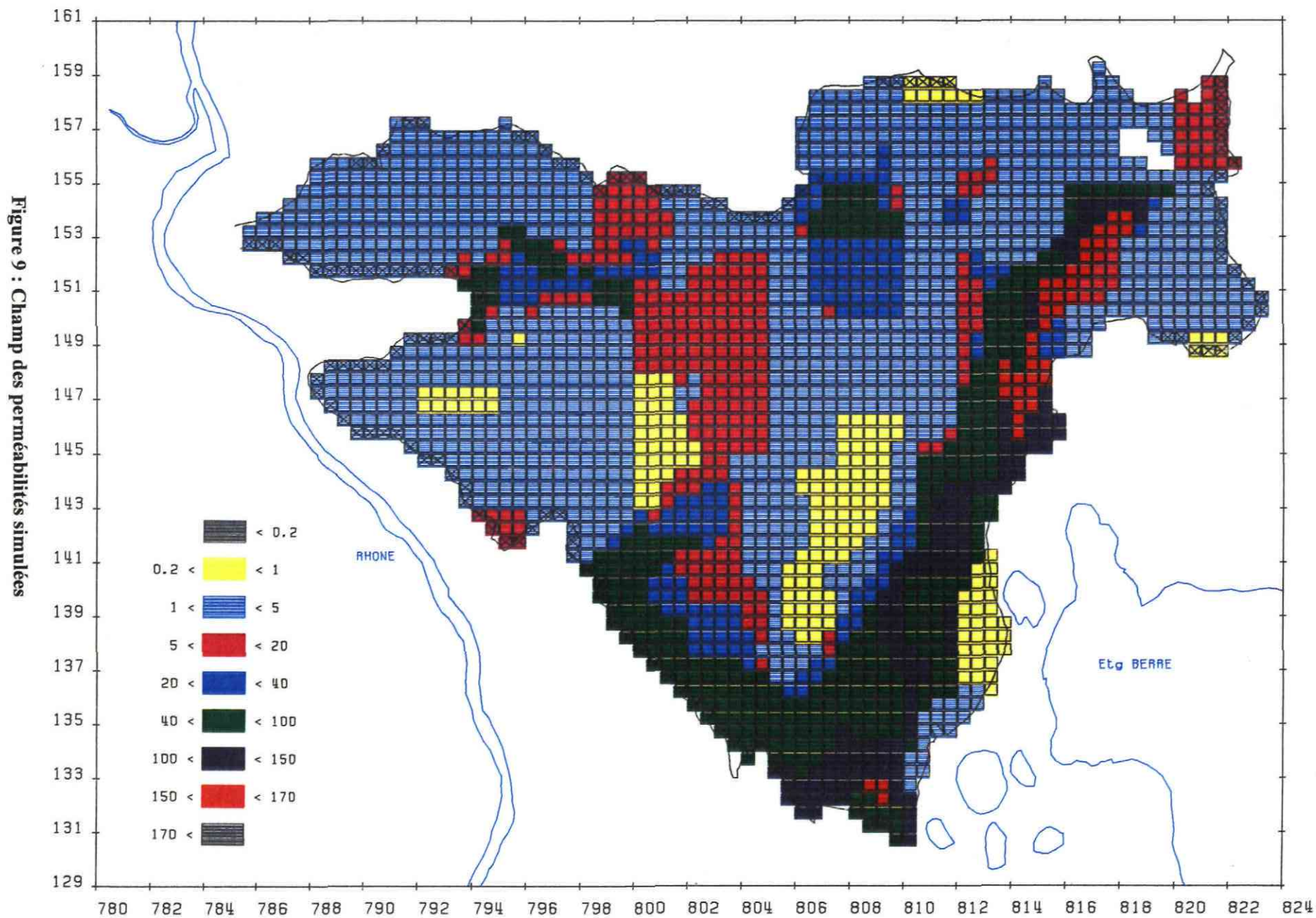


Figure 7 : Isohyphes du substratum simulé

NAPPE DE LA CRAU - LOCALISATION DES PIEZOMETRES DE REFERENCE - 1/200.000



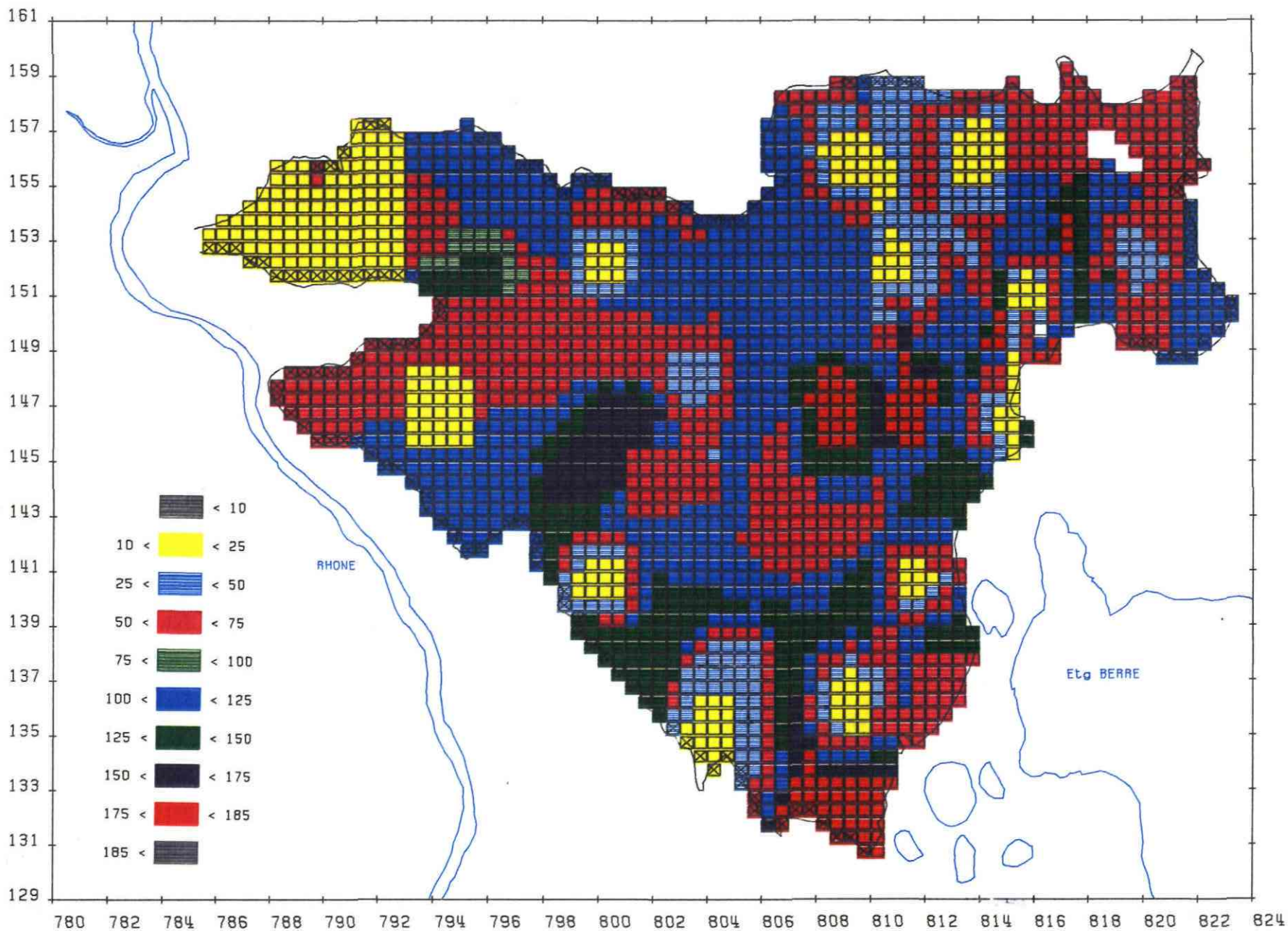
NAPPE DE LA CRAU - CHAMP DES PERMEABILITES SIMULEES (valeurs en 10^{-4} m/s)



"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

NAPPE DE LA CRAU - COEFFICIENTS D'EMMAGASINEMENT SIMULES (valeurs en 10^{-3})

Figure 10 : Champ des coefficients d'emmagasinement simulés



"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

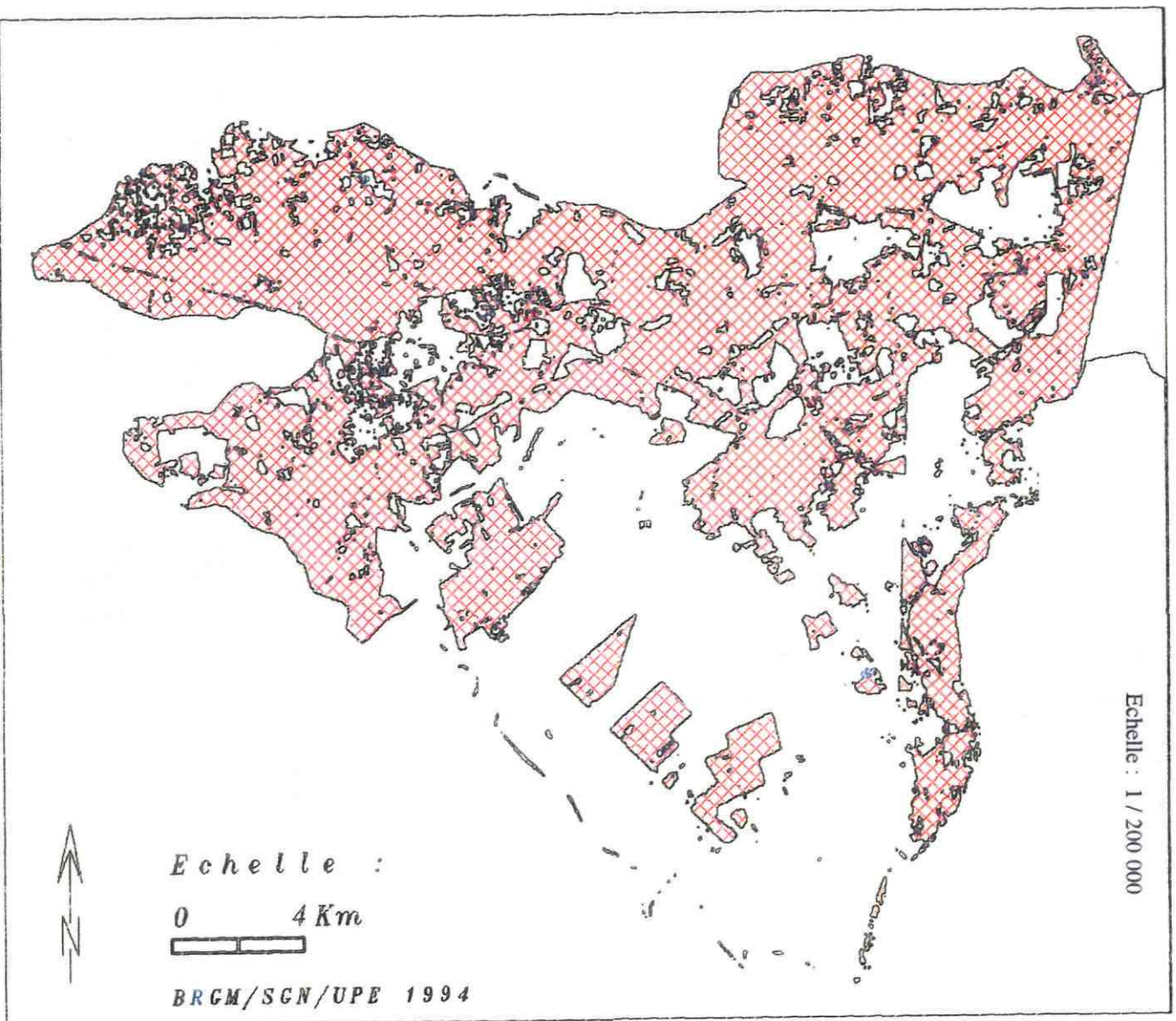


Figure 11 - PERIMETRES IRRIGUES DE LA PLAINE DE LA CRAU
RESULTANTS DE L'INTERPRETATION DE L'IMAGE SPOT

NAPPE DE LA CRAU - ZONES D'IRRIGATIONS A DIFFERENTS MODULES. (1/200.000)

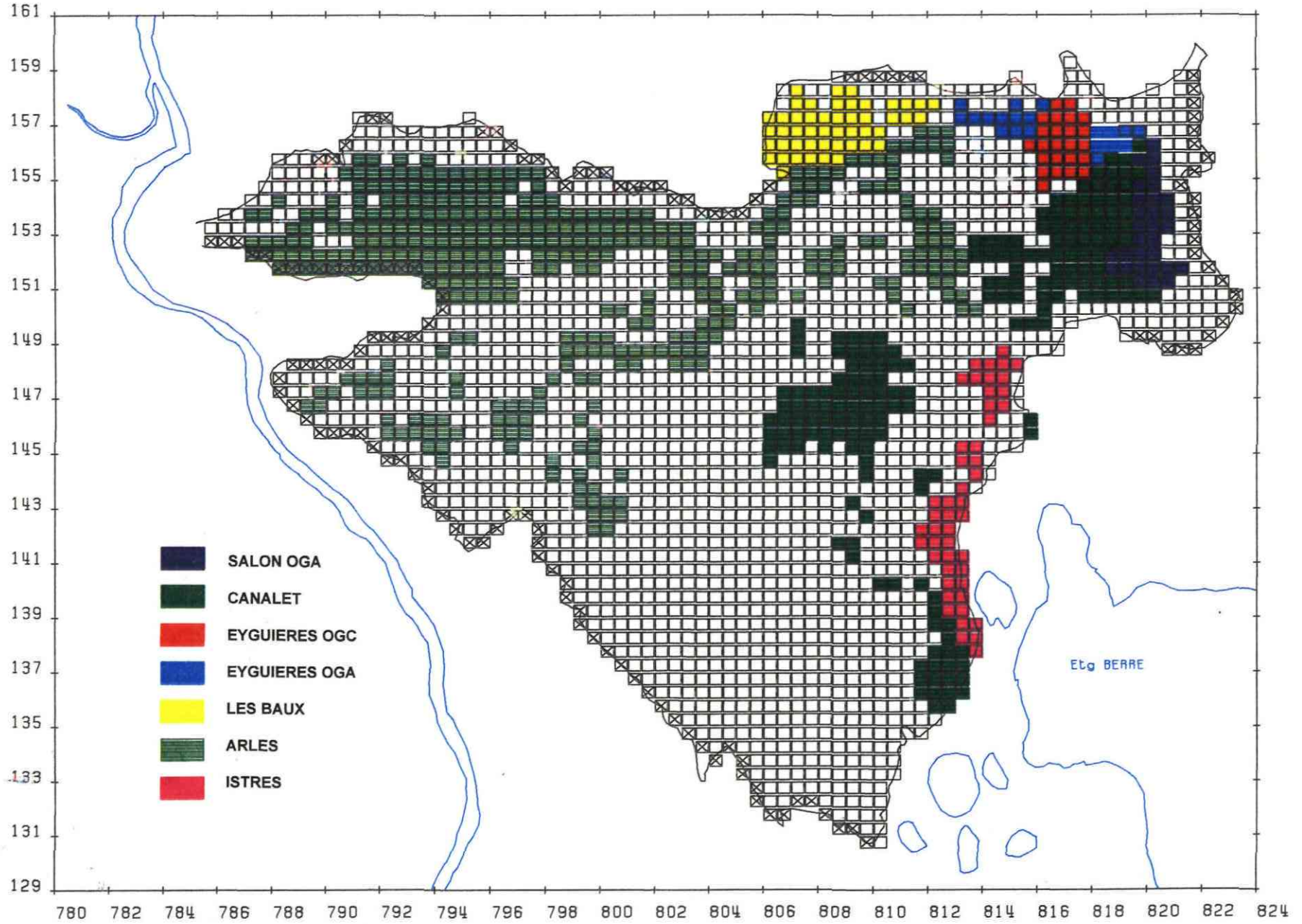


Figure 12 : Zones d'irrigations à différents modules

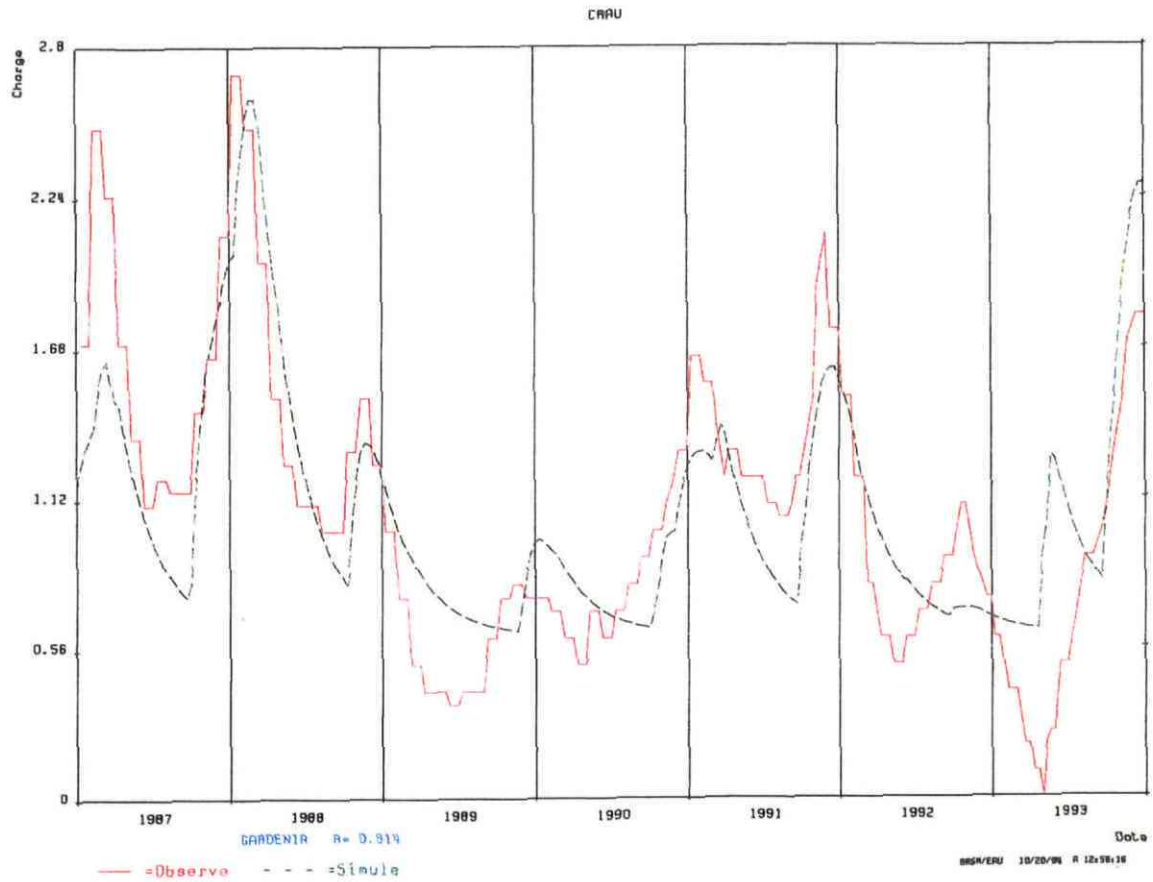


Figure 13 - CALCUL DE LA RECHARGE PAR LES PLUIES

Variations (observée et simulée) du piézomètre P29

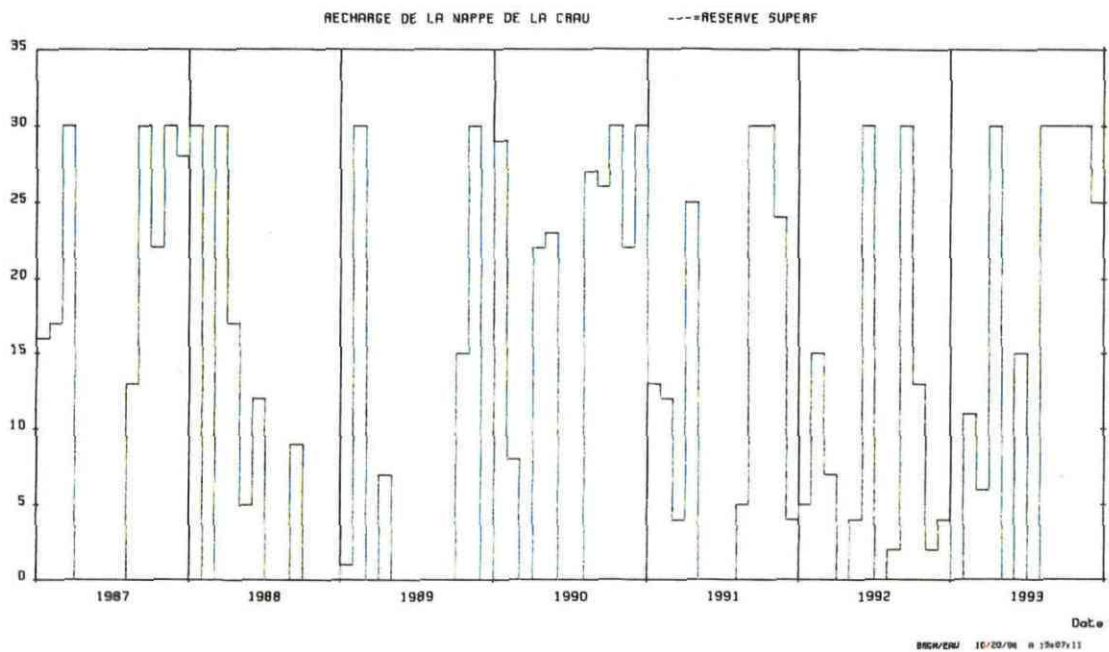


Figure 14 - CALCUL DE LA RECHARGE PAR LES PLUIES

Variations de hauteur d'eau dans la réserve superficielle

— RESERVE SUPERFICIELLE

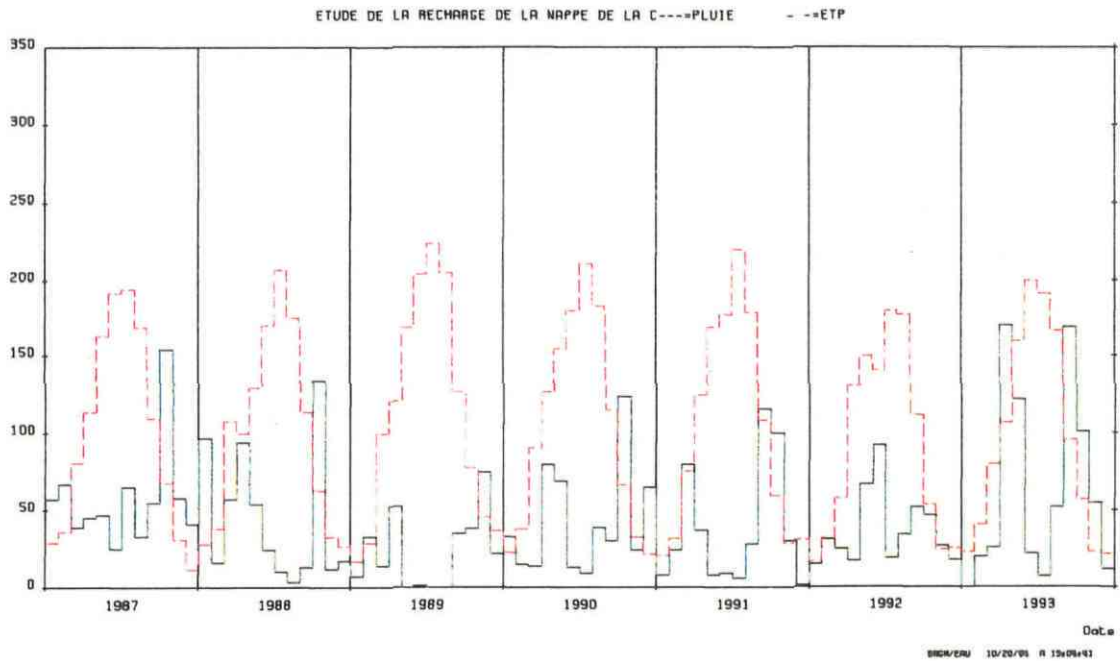


Figure 15 - CALCUL DE LA RECHARGE PAR LES PLUIES
Comparaison Pluie-ETP

— ETP
— PLUIE

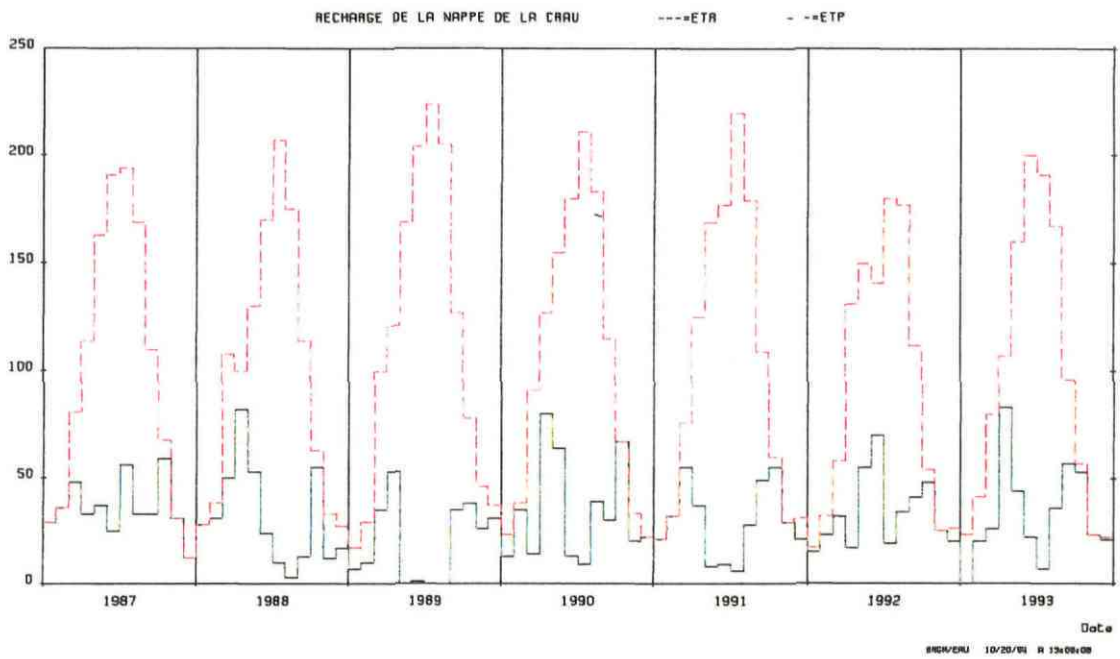


Figure 16 - CALCUL DE LA RECHARGE PAR LES PLUIES
Comparaison ETR-ETP

— ETR
— ETP

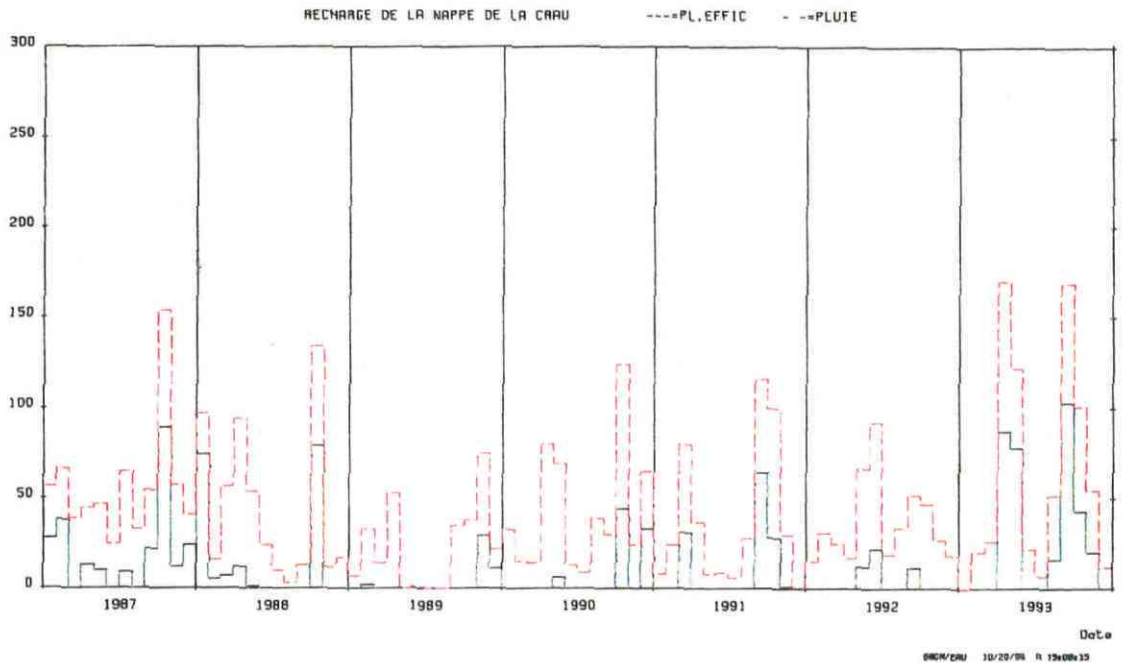


Figure 17 - CALCUL DE LA RECHARGE PAR LES PLUIES
Comparaison Pluie efficace- Pluie

— PLUIE EFFICACE
— PLUIE

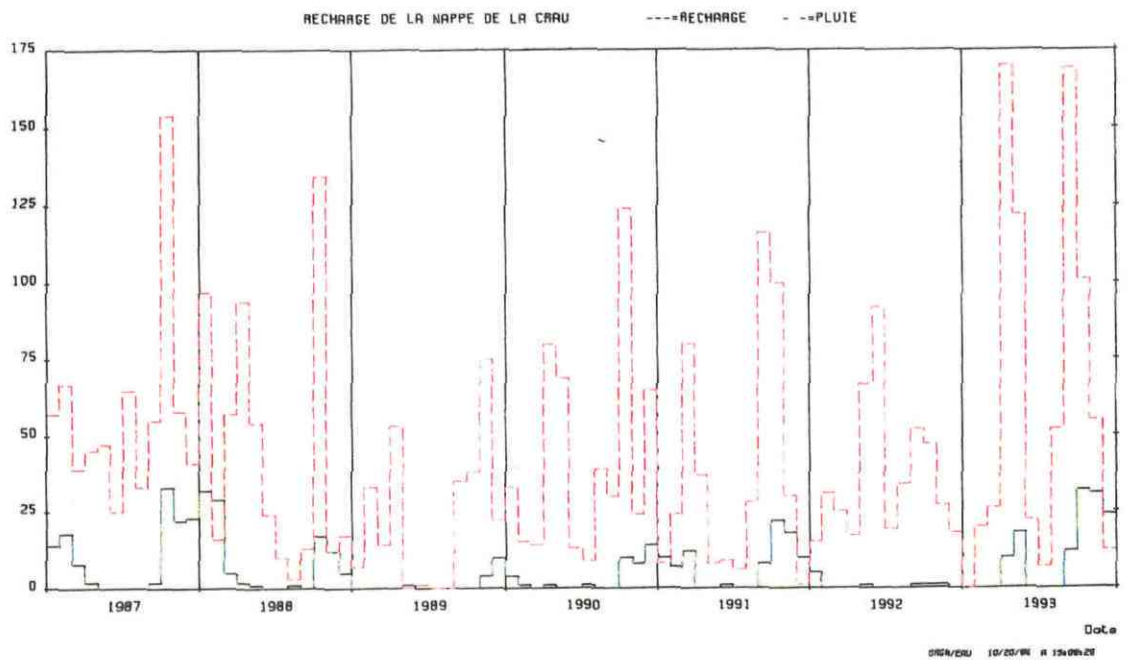


Figure 18 - CALCUL DE LA RECHARGE PAR LES PLUIES
Comparaison Recharge- Pluie

— RECHARGE
— PLUIE

NAPPE DE LA CRAU - LOCALISATION DES PRELEVEMENTS - ECHELLE : 1/200 000

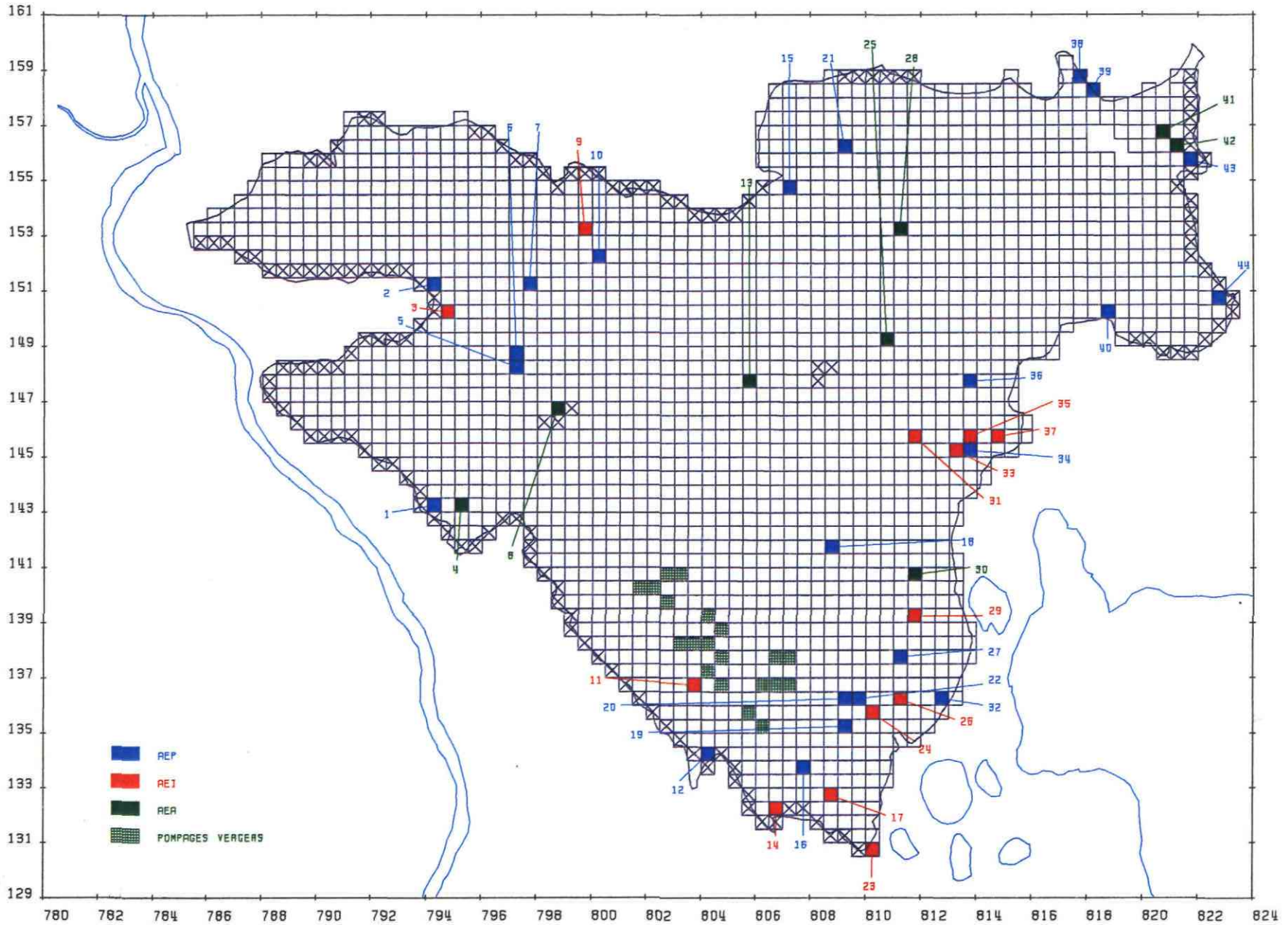


Figure 19 : Localisation des prélèvements

PERMANENT-CHARGES SIMULEES AVEC POMPAGES DE 82 (vert), OBSERVEES EN JUILLET 82 (rouge)

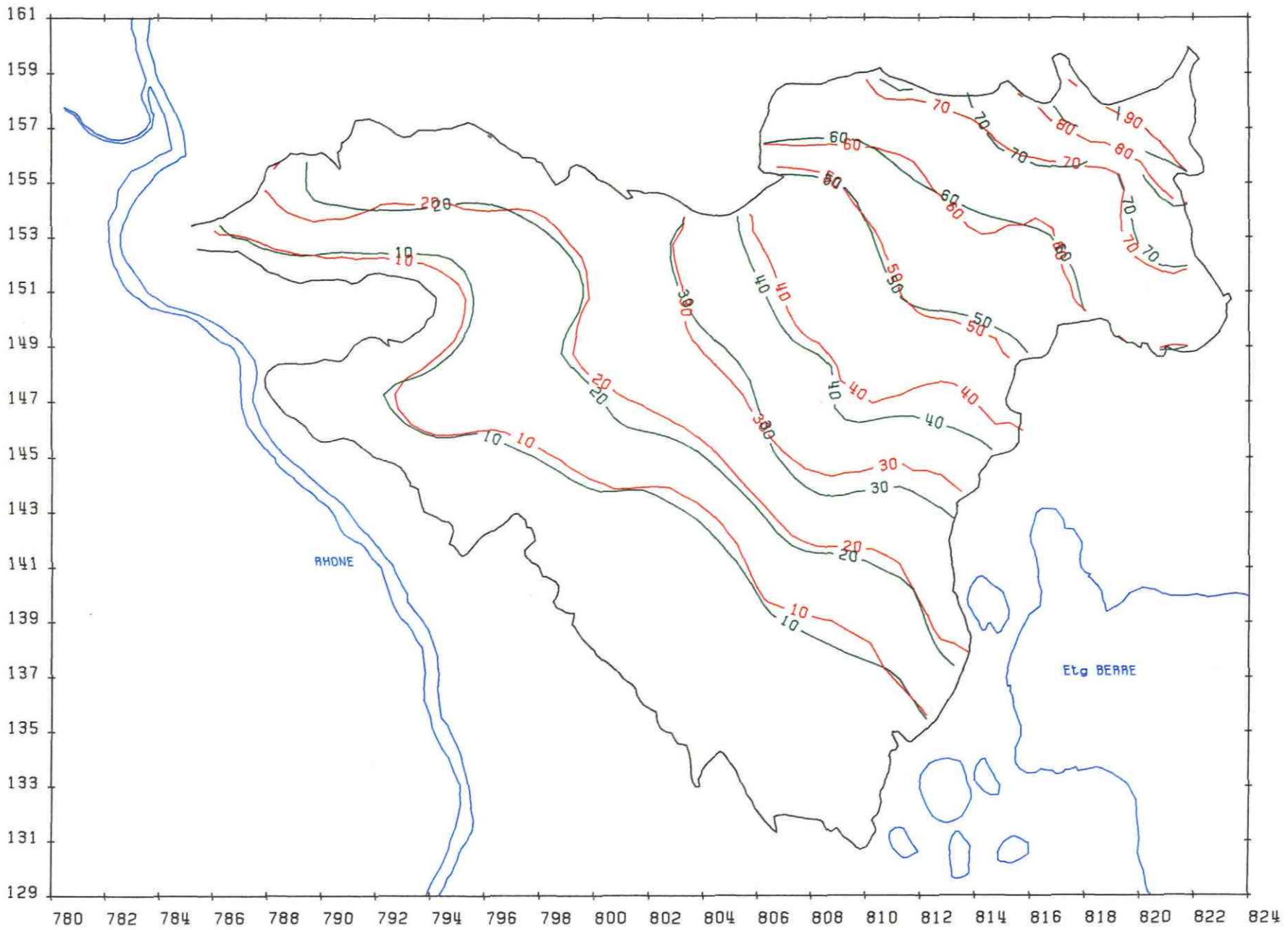


Figure 20 : Calage en régime permanent, charges simulées (avec pompages de 1982) et charges observées en Juillet 1982

REGIME PERMANENT - CHARGES SIMULEES (vert), OBSERVEES EN JUILLET 82 (rouge)

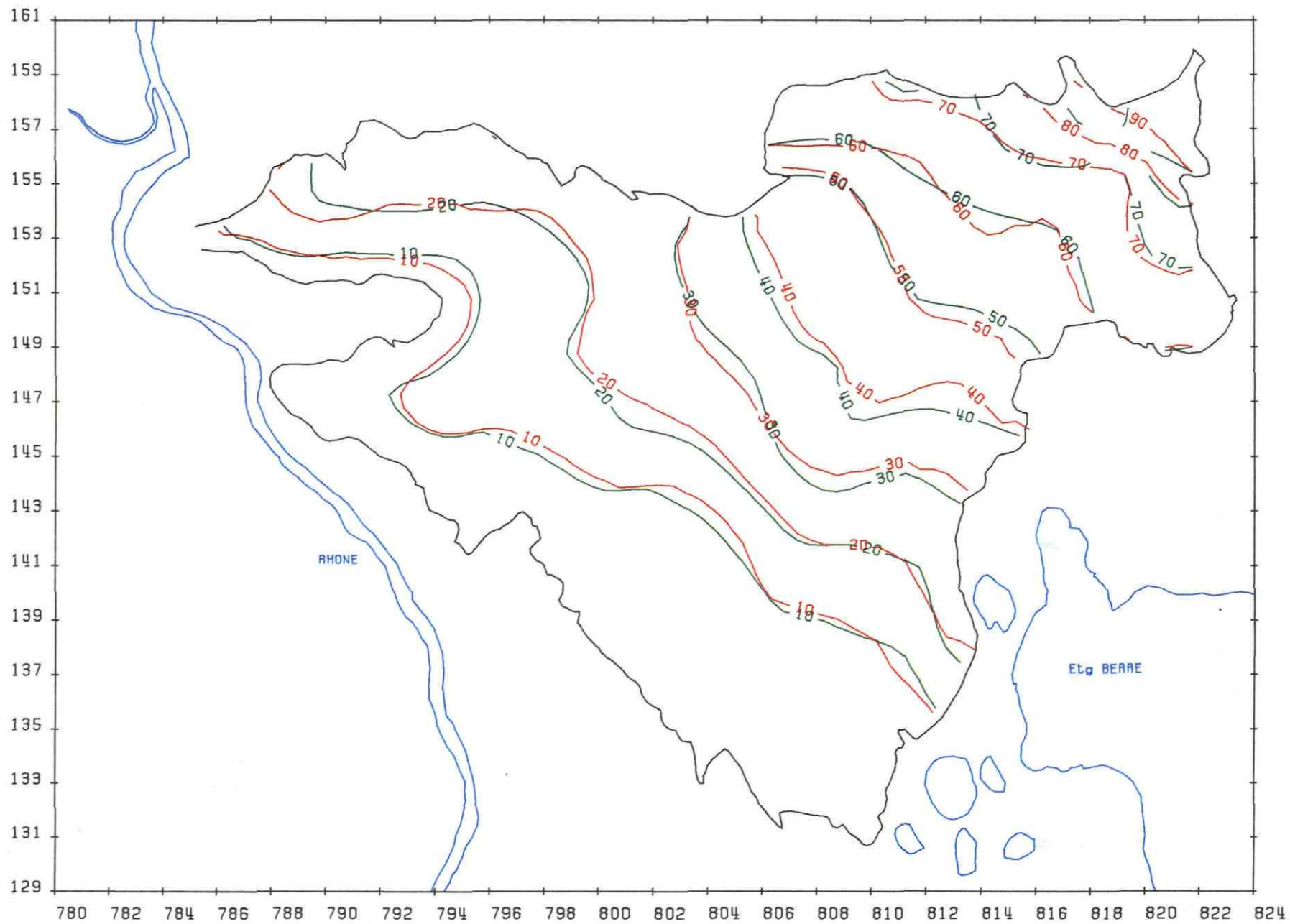


Figure 21 : Régime permanent, charges simulées (avec pompages de 1992) et charges observées en Juillet 1982

NAPPE DE LA CRAU - REGIME PERMANENT - MAILLES A DEBORDEMENT

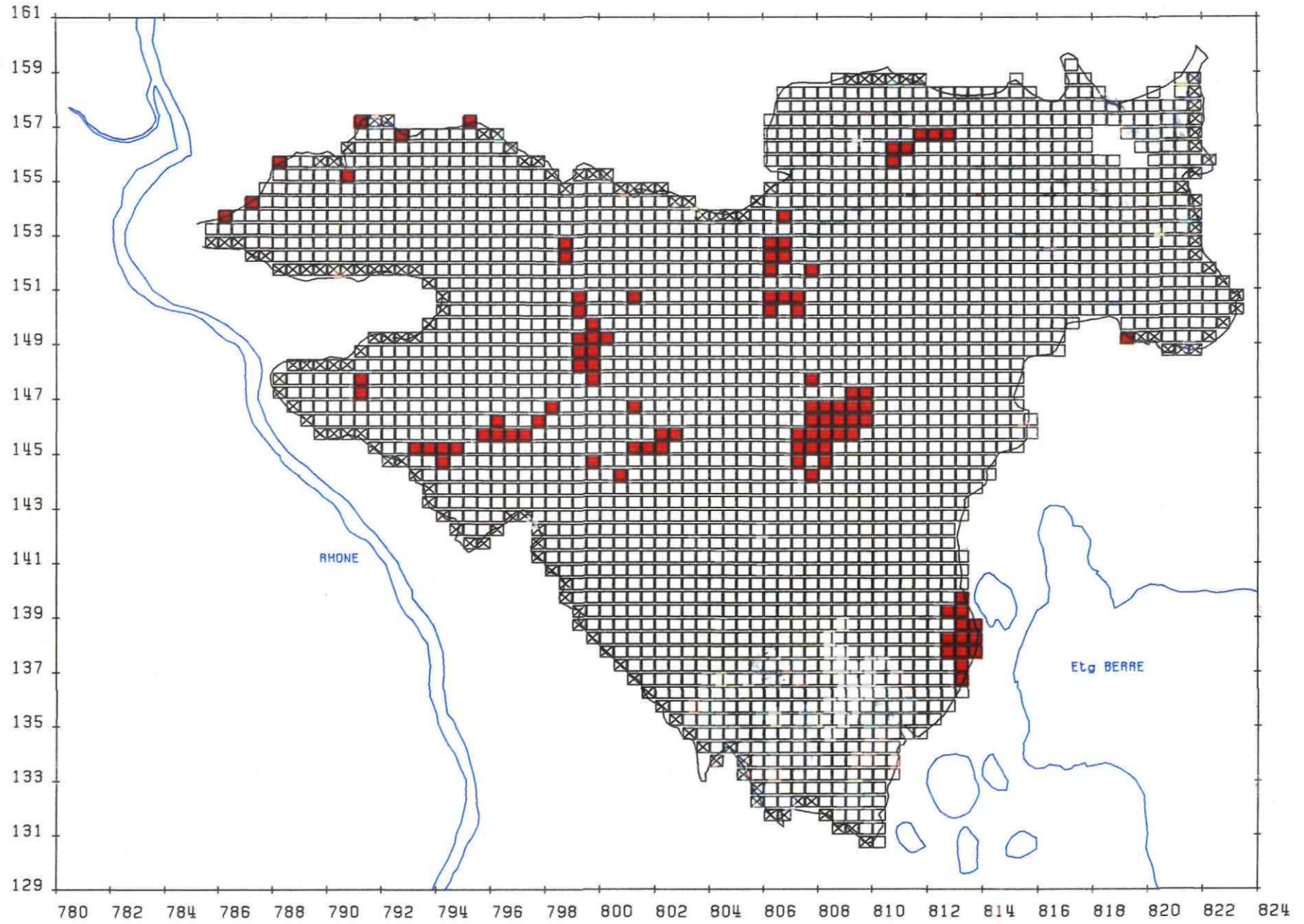


Figure 22 : Régime permanent, localisation des mailles à débordement

TRANSITOIRE 87-93, CHARGES SIMULEES JUIL 93 (vert), OBSERVEES JUIL 82 (rouge)

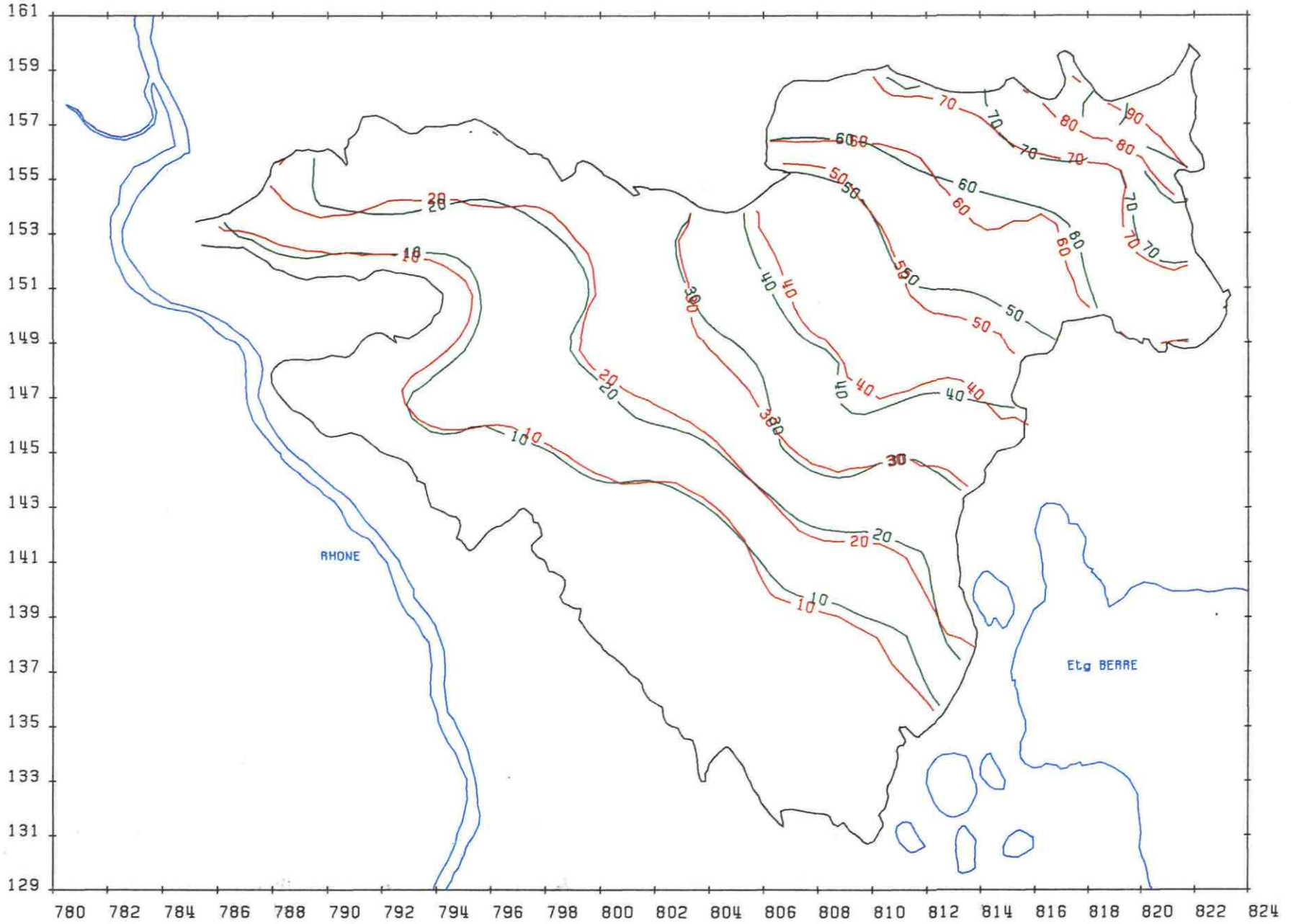


Figure 23 : Calage en régime transitoire, charges simulées en Juillet 1993 et observées en Juillet 1982

NAPPE DE CRAU - MAILLES A DEBORDEMENT - TRANSITOIRE: JUILLET 88

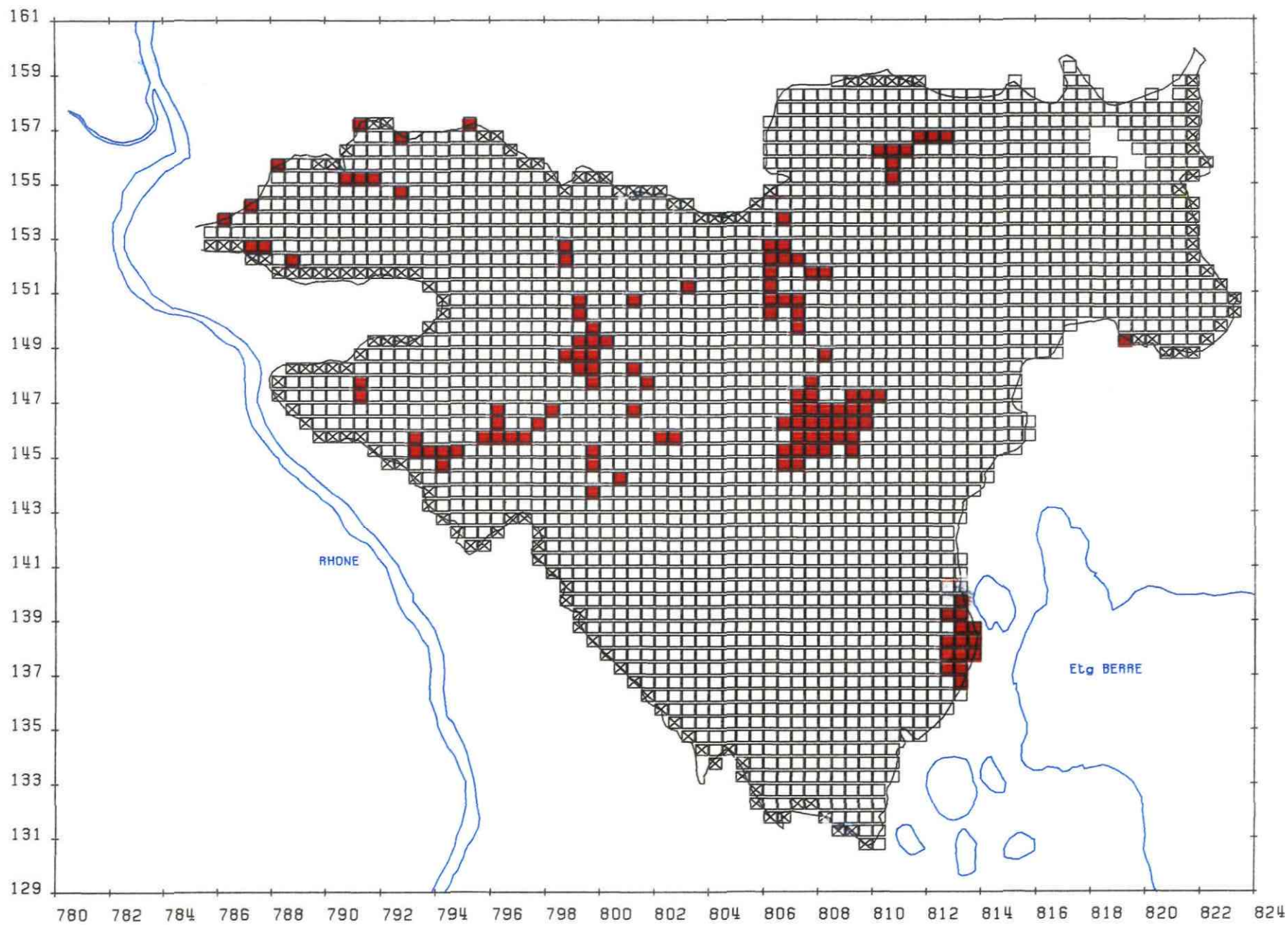


Figure 24 : Calage en régime transitoire, localisation des mailles à débordement correspondant à l'état piézométrique simulé de juillet 1988)

Figures 25 à 51 :

**Calage en régime transitoire, comparaison des variations
piézométriques simulées et observées sur les 27 piézomètres de
référence (de 1987 à 1993)**

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

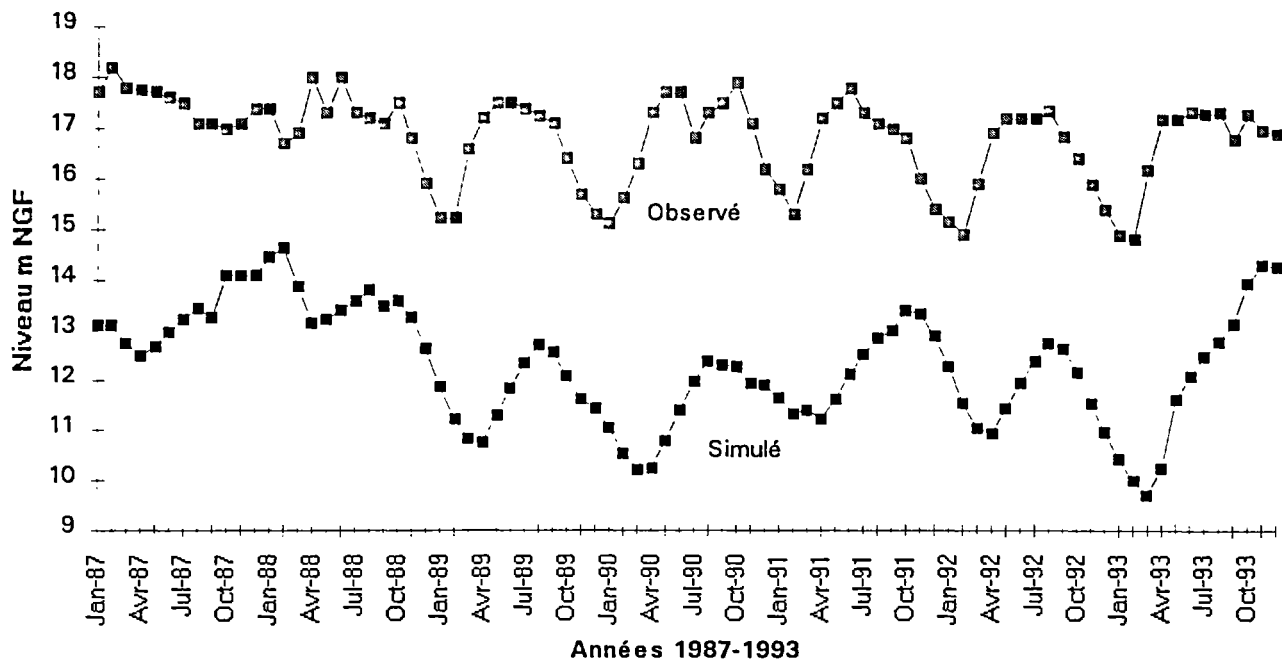


Figure 25 - Arles P45

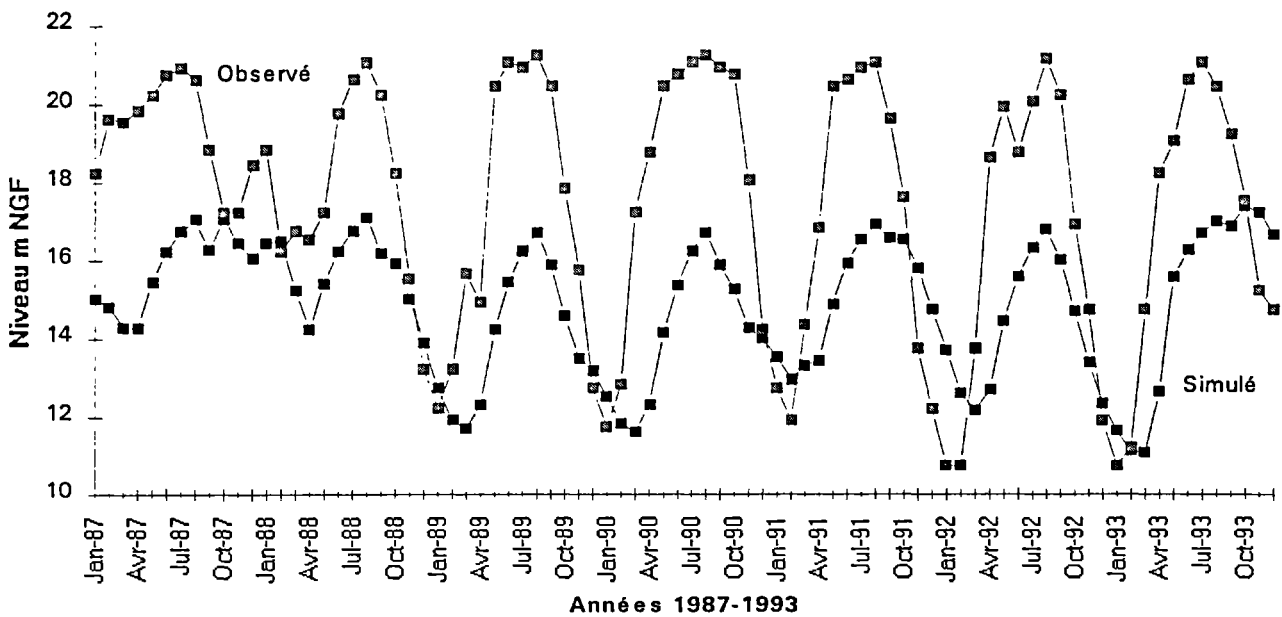


Figure 26 - Arles P30

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

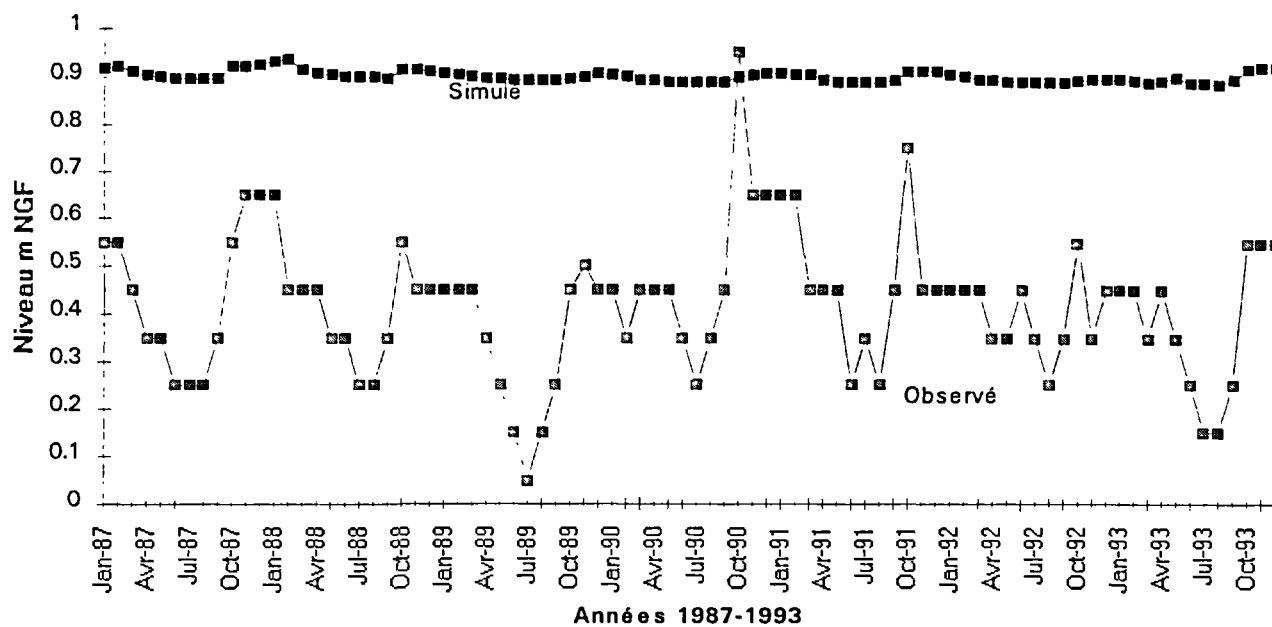


Figure 27 - Arles F18

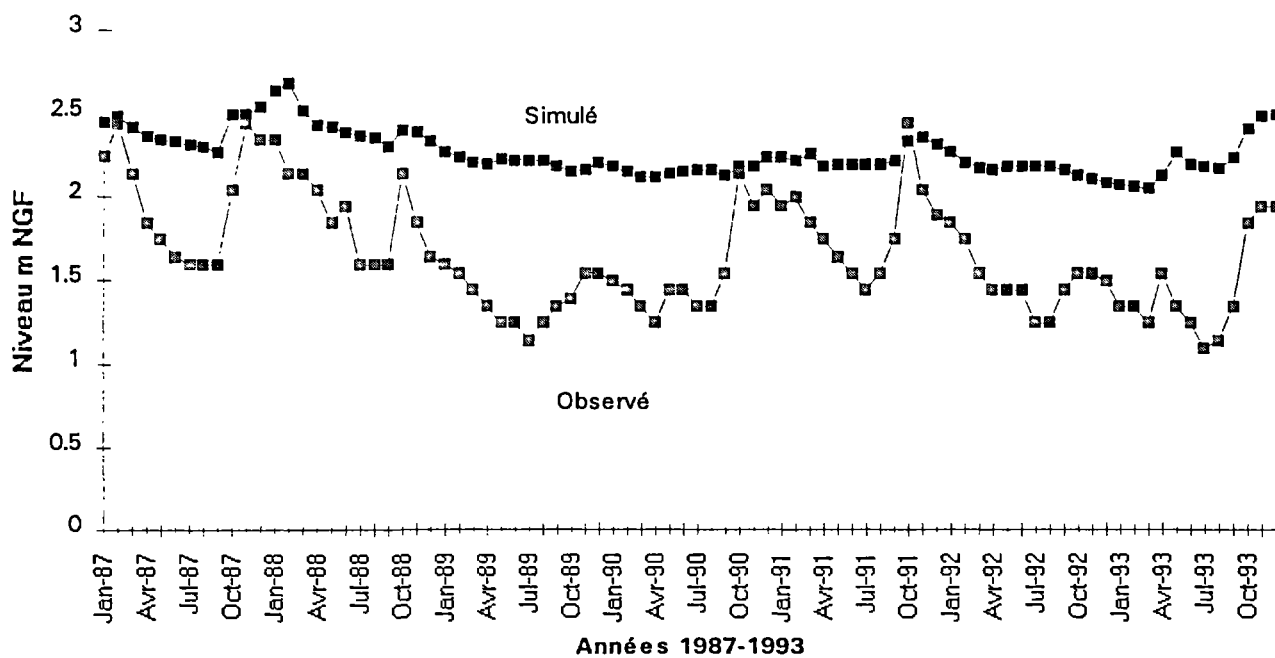


Figure 28 - Arles P21

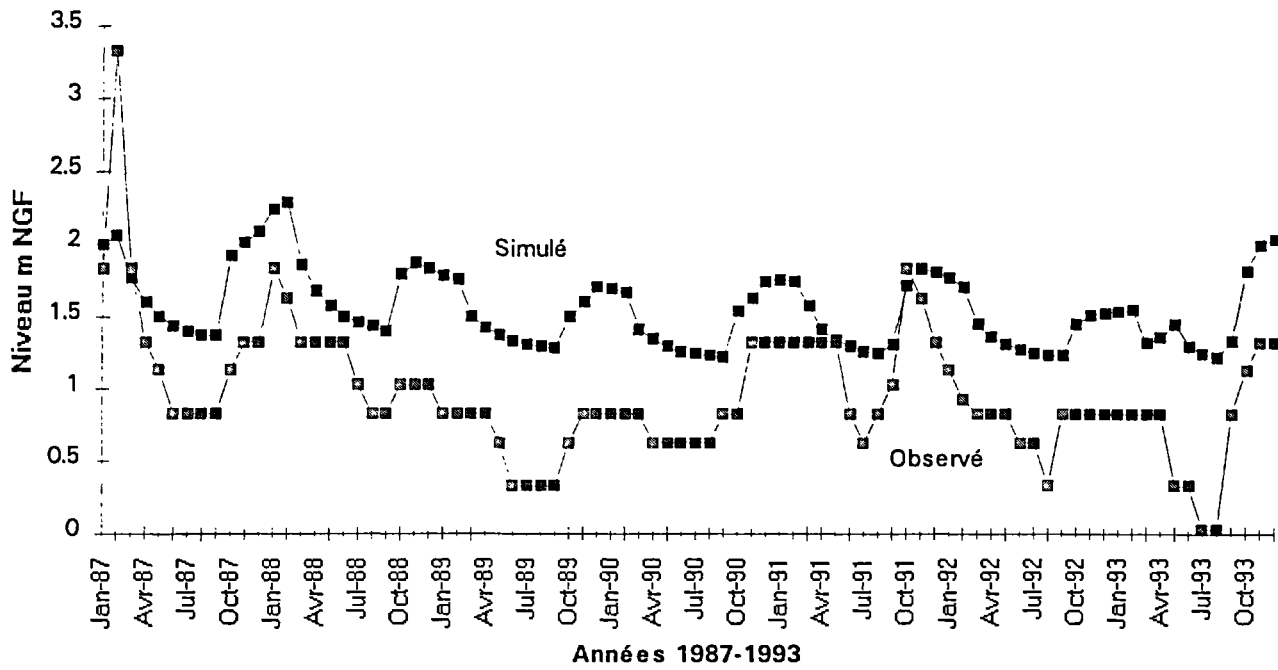


Figure 29 - Arles P9

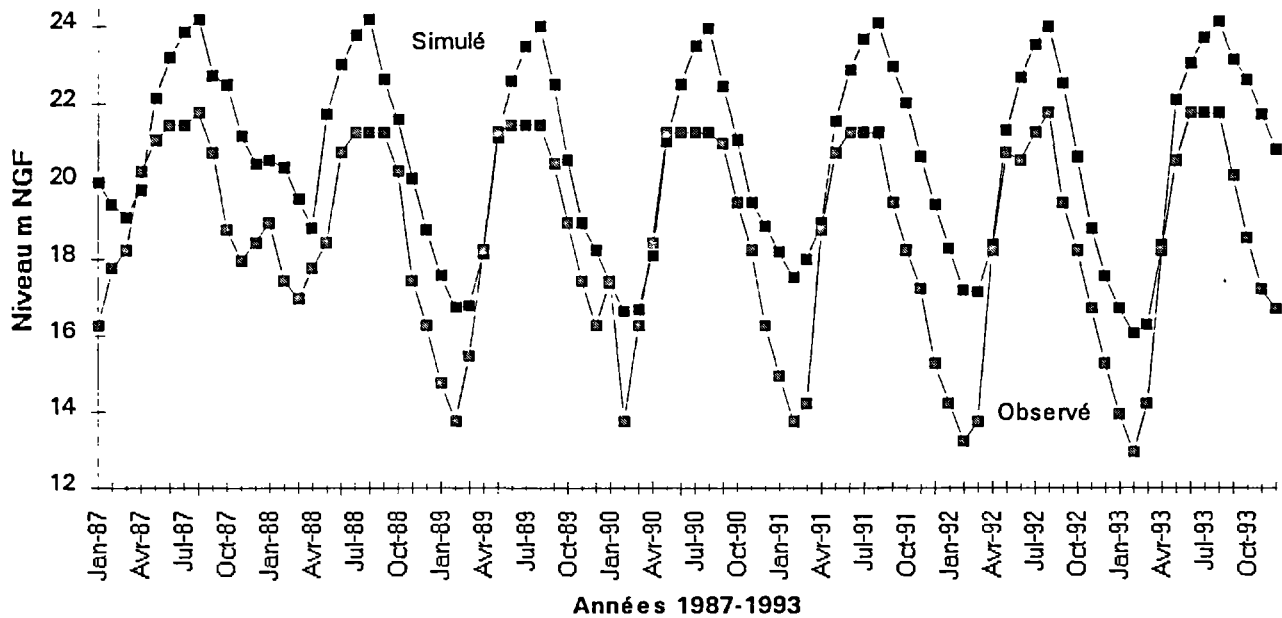


Figure 30 - Arles P13

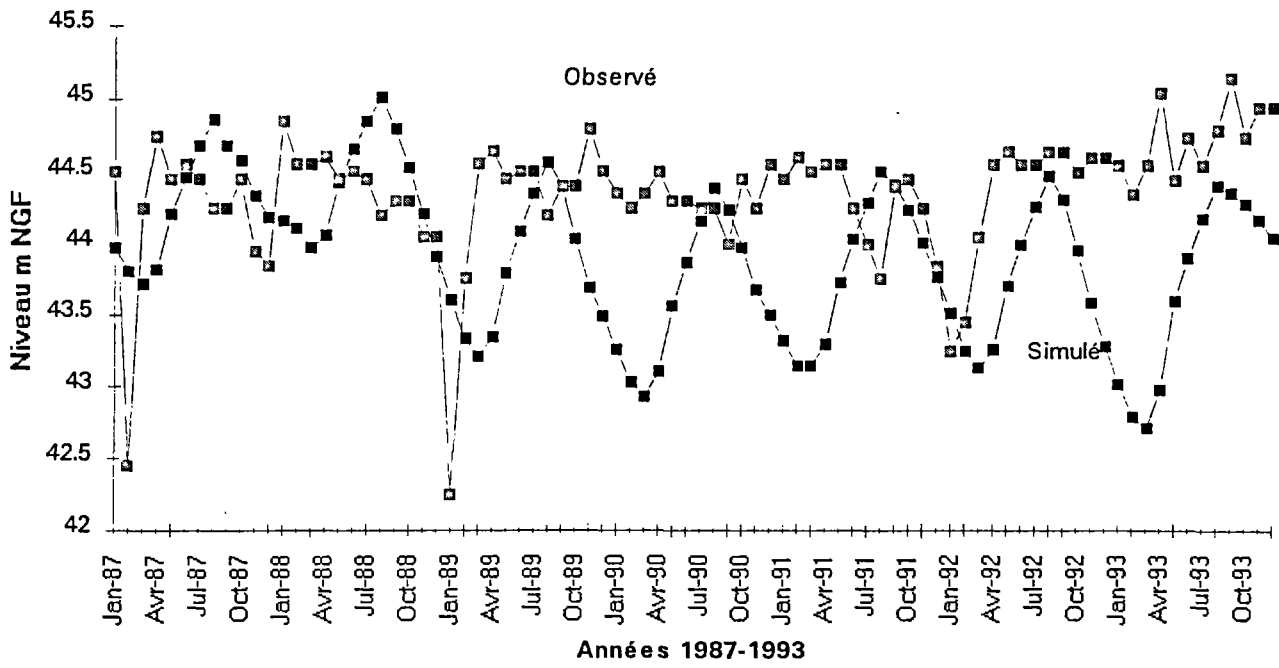


Figure 31 Istres P19

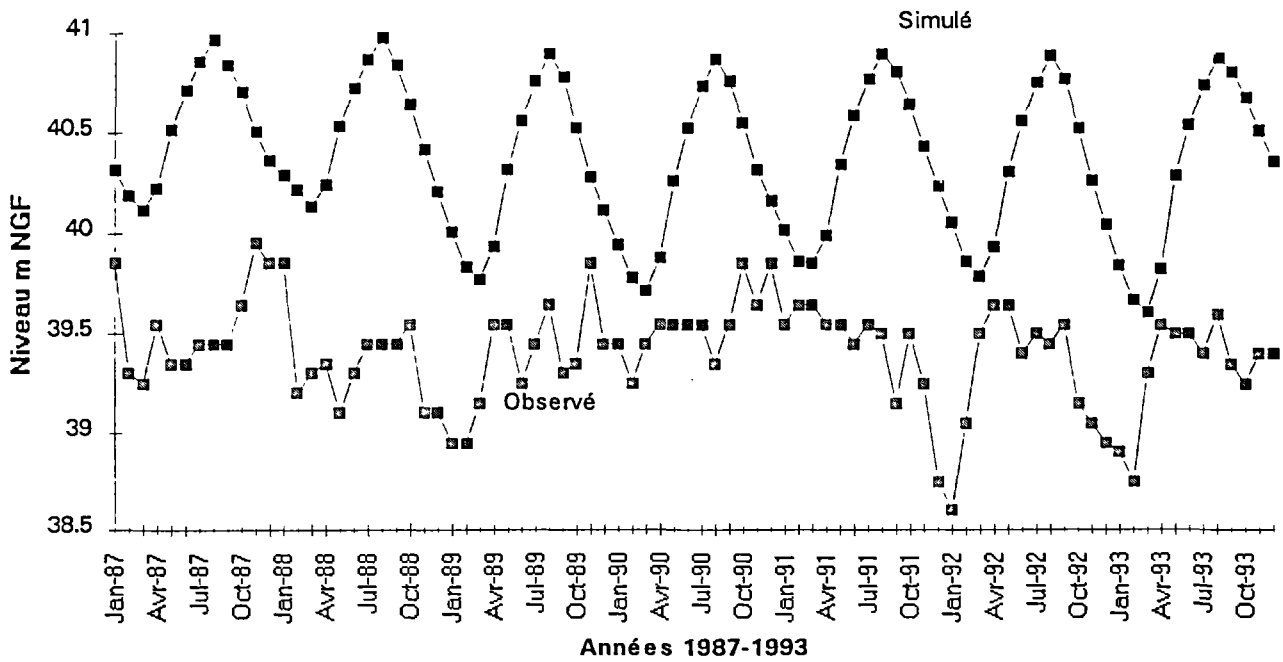


Figure 32 Istres P21

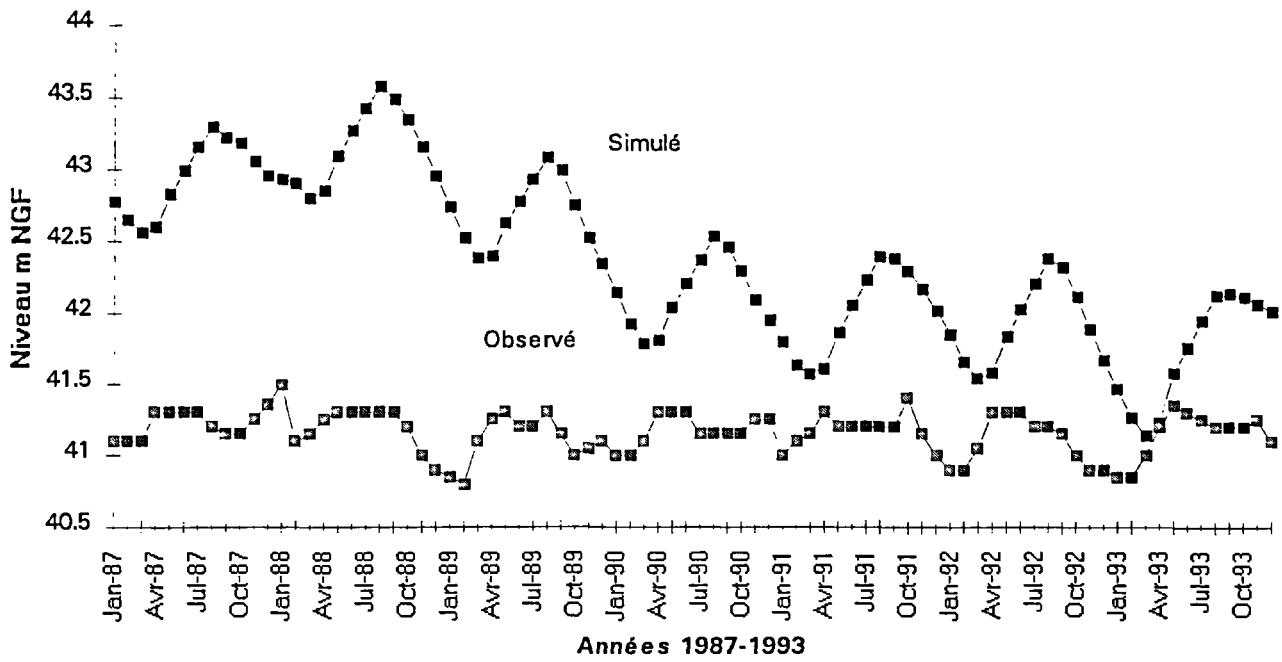


Figure 33 Istres P8

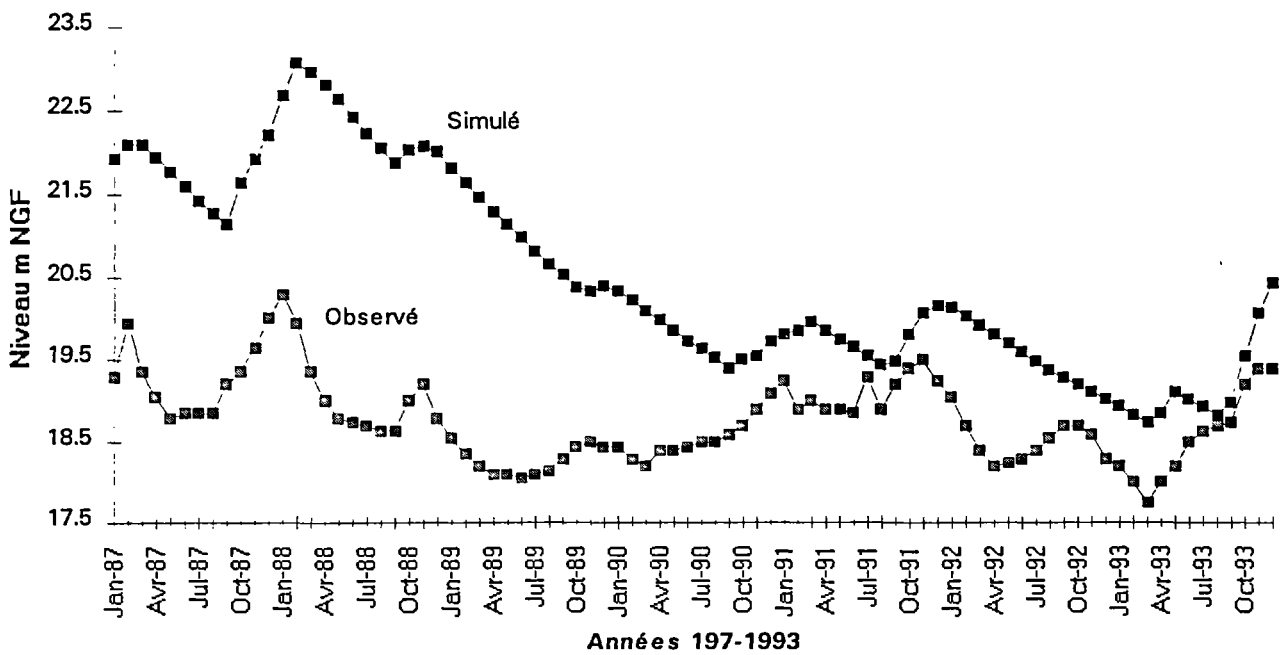


Figure 34 Istres P29

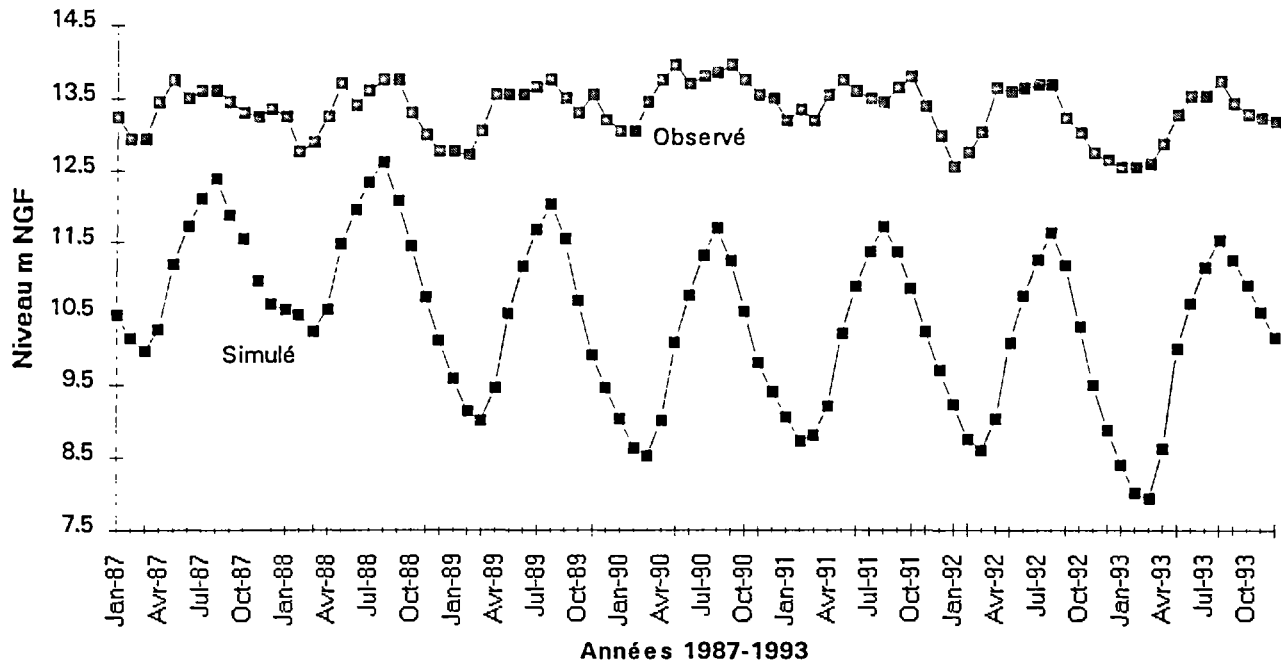


Figure 35 Istres P2

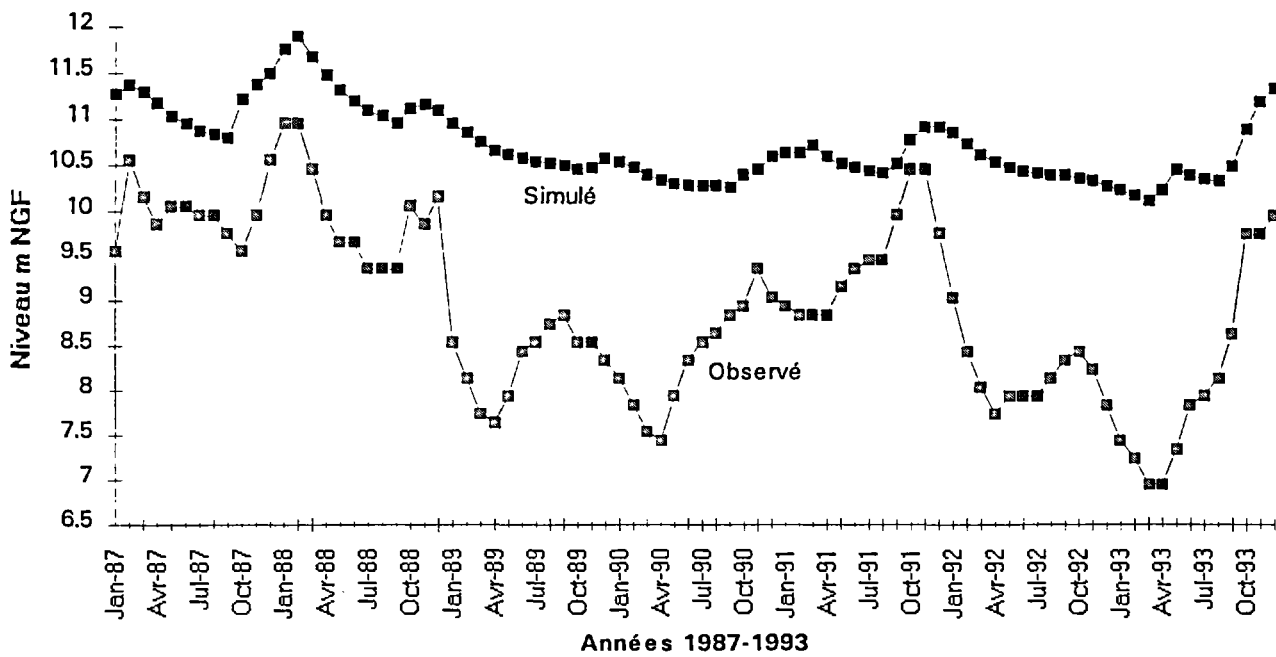


Figure 36 - Saint Martin de Crau P7

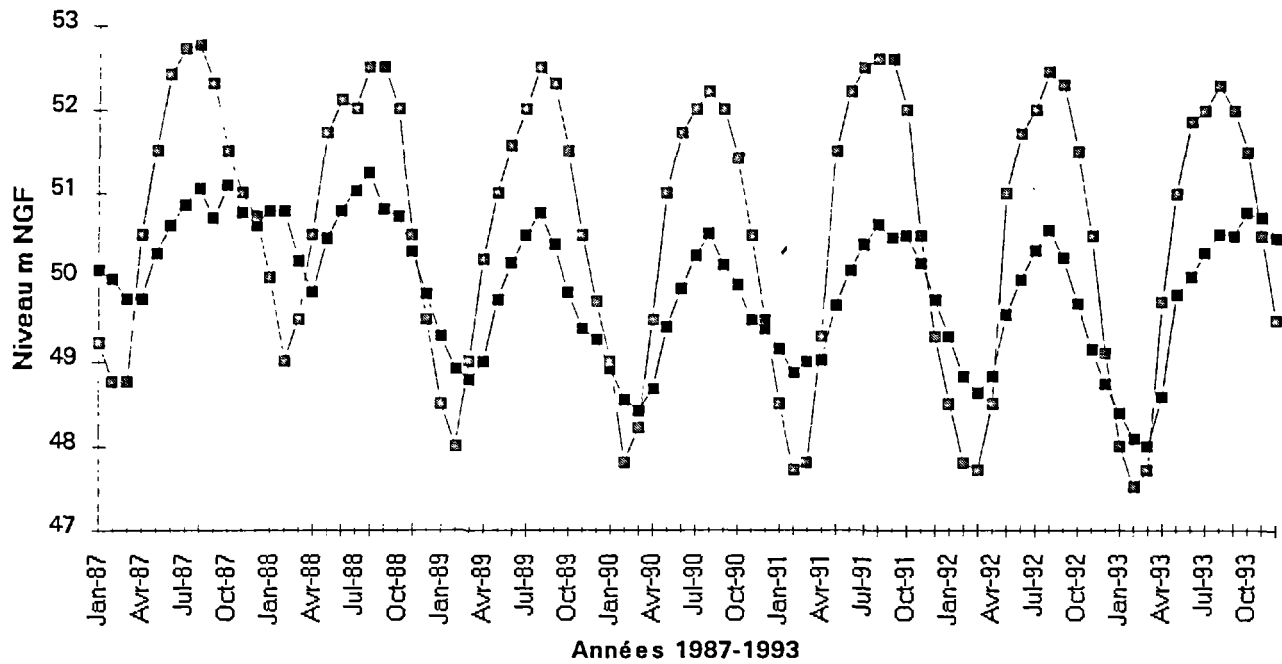


Figure 37 - Saint Martin de Crau P18

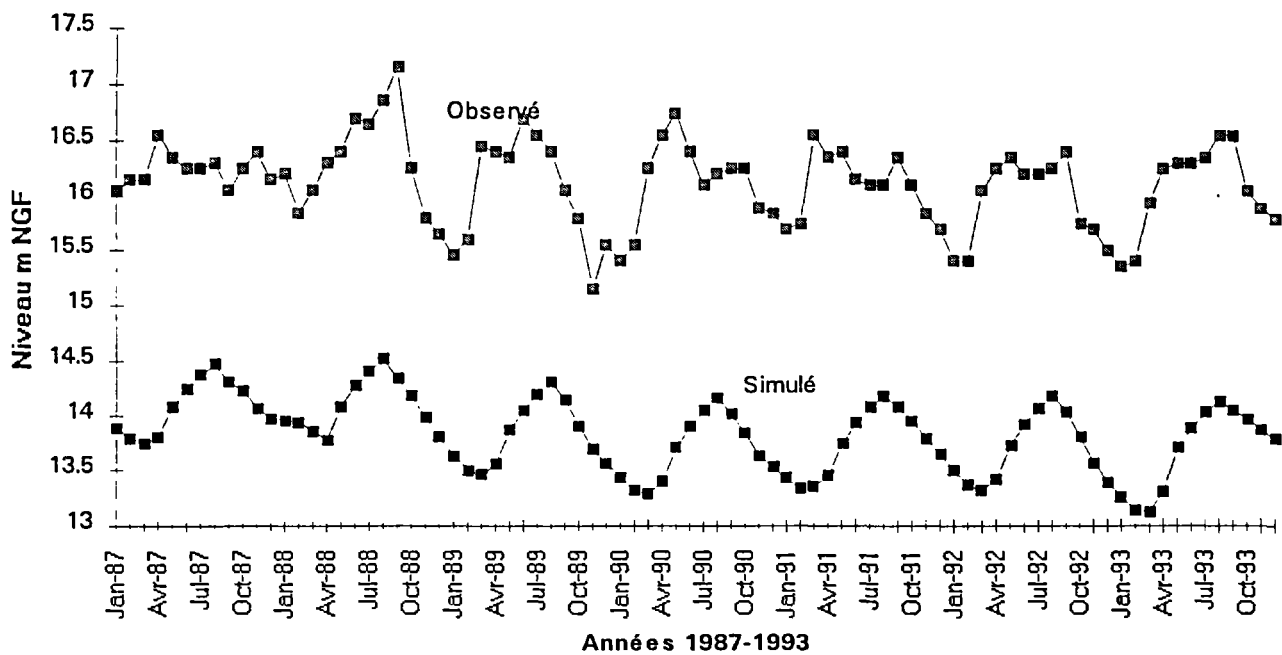


Figure 38 - Saint Martin de Crau P20

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

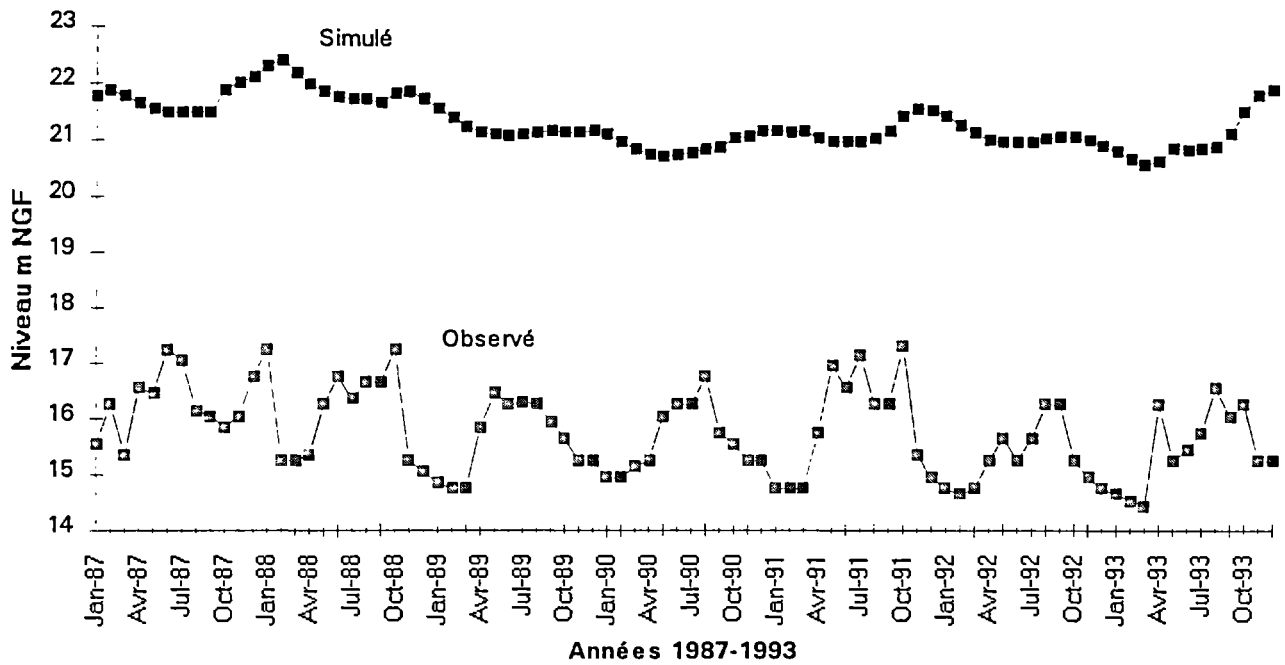


Figure 39 - Saint Martin de Crau P23

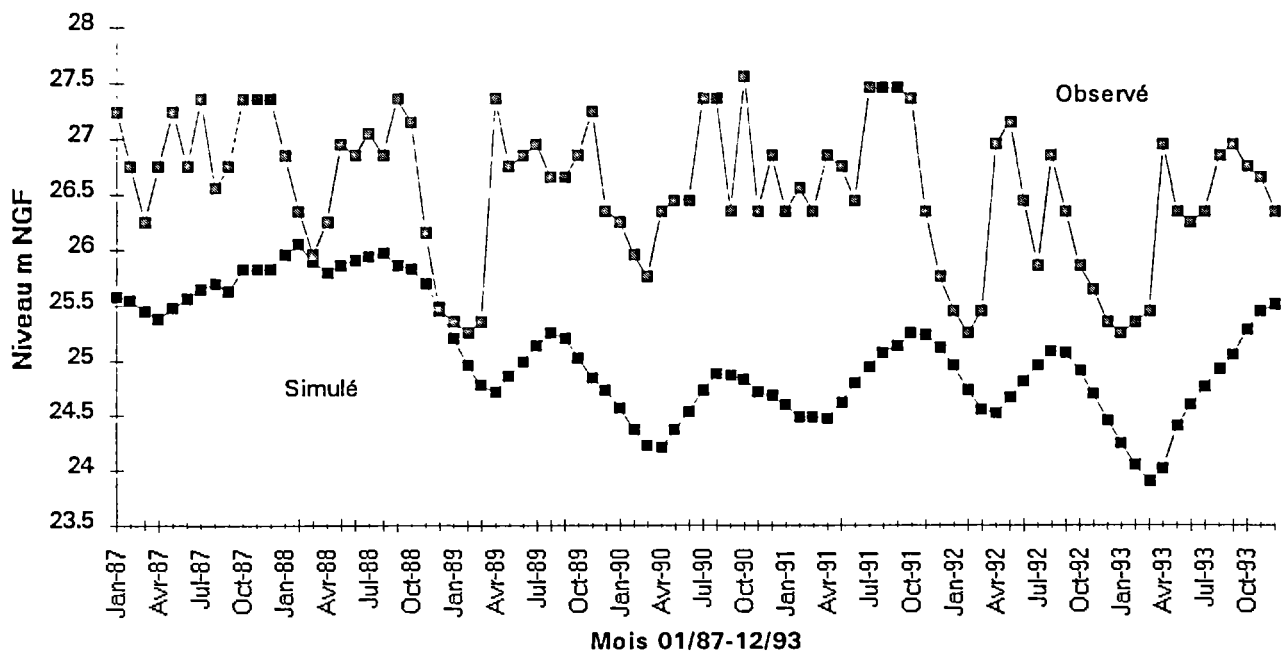


Figure 40 - Saint Martin de Crau P23B

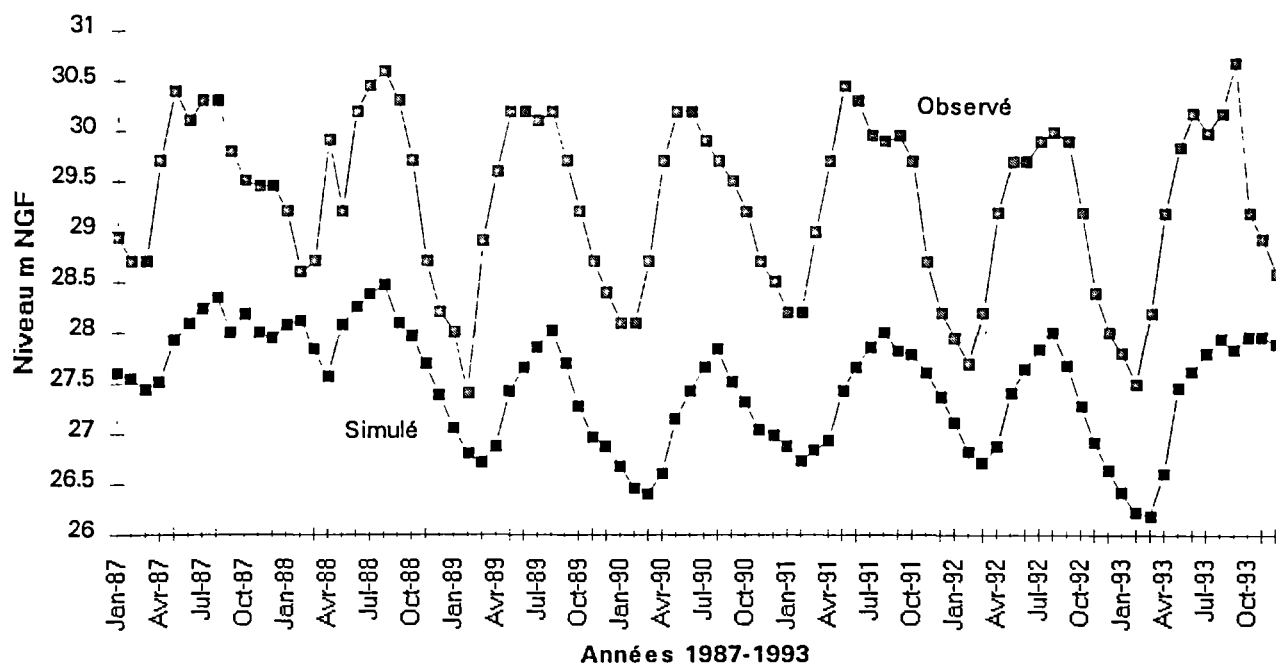
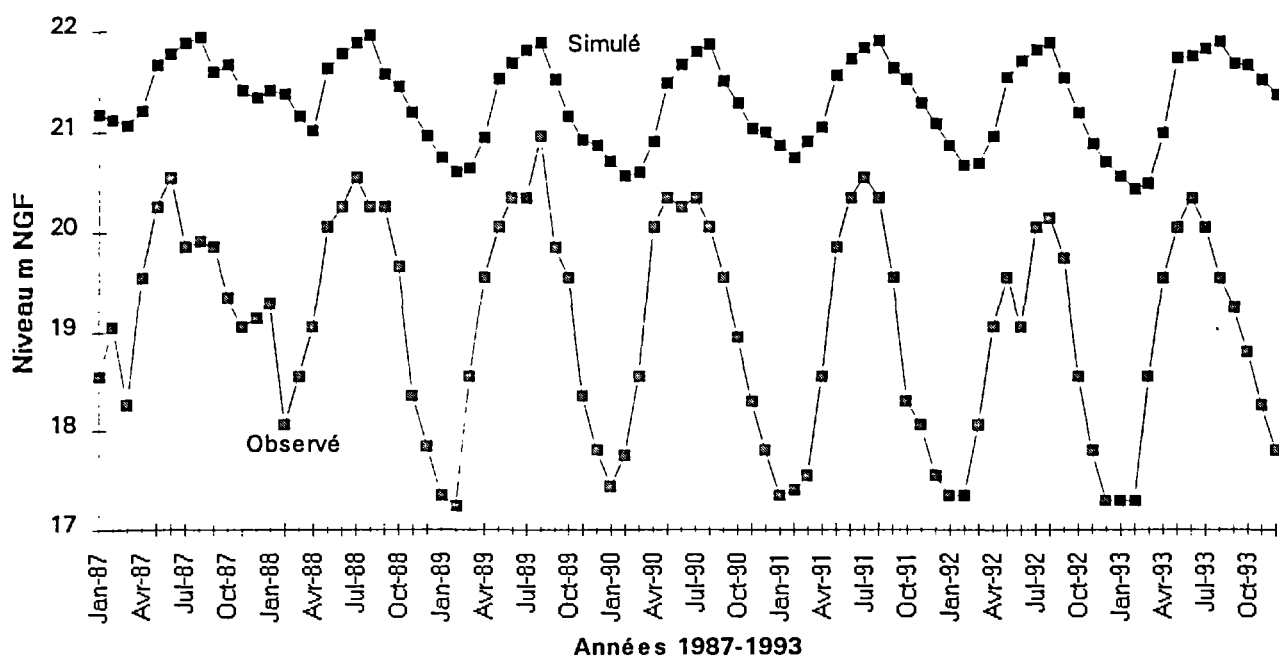


Figure 41 - Saint Martin de Crau P42



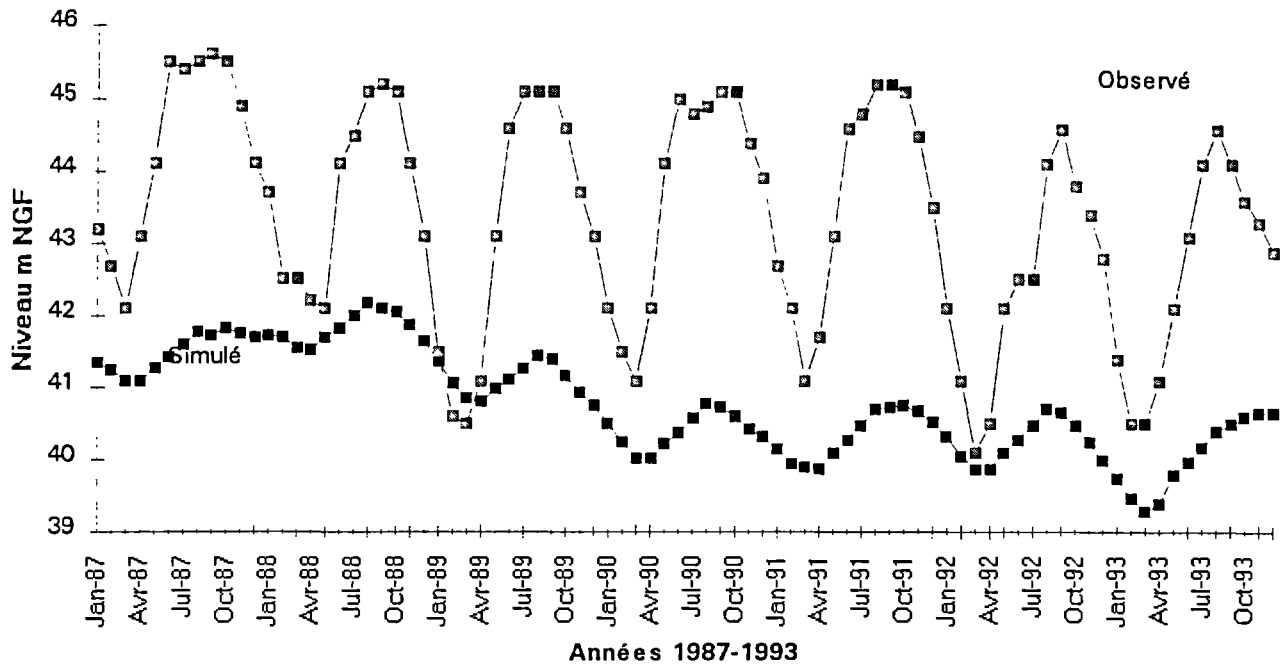


Figure 43 - Miramas P5

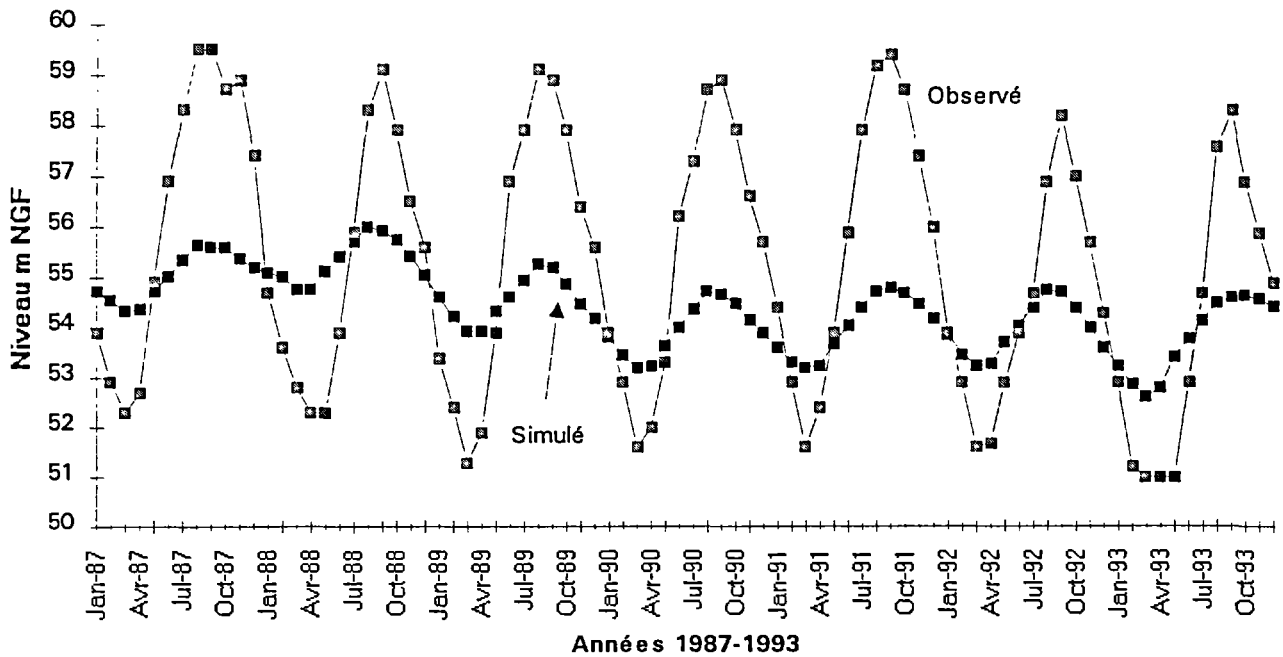


Figure 44 - Grans P7

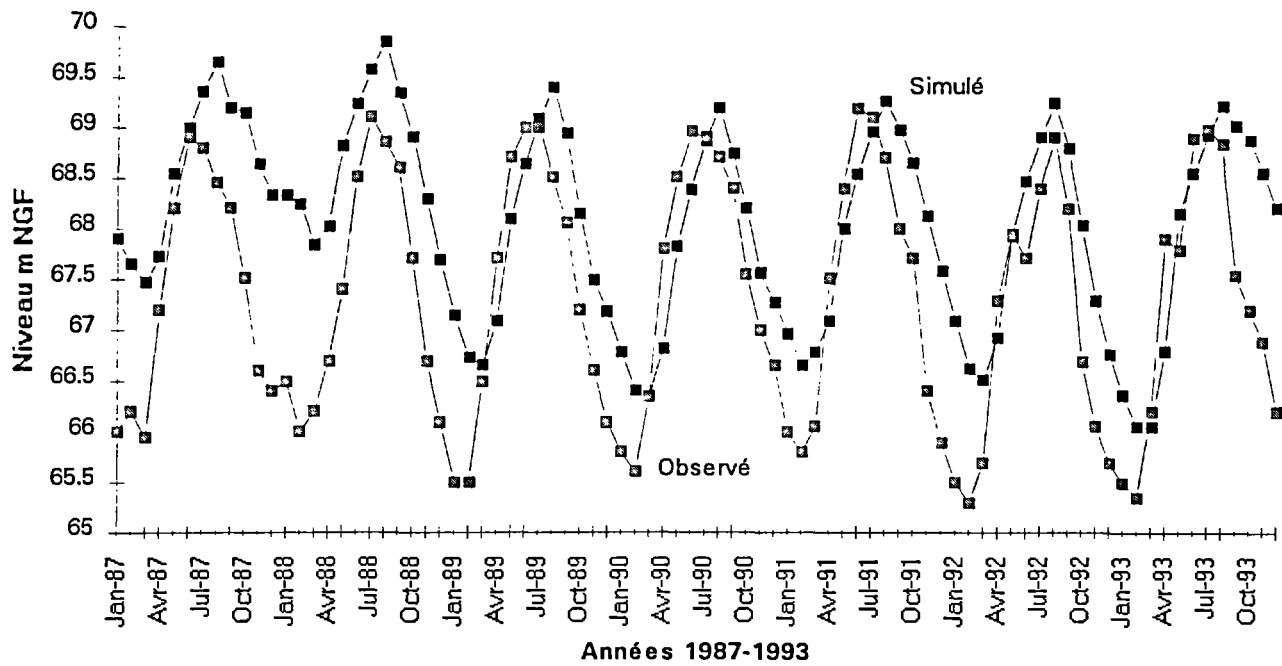


Figure 45 - Salon de Provence P48

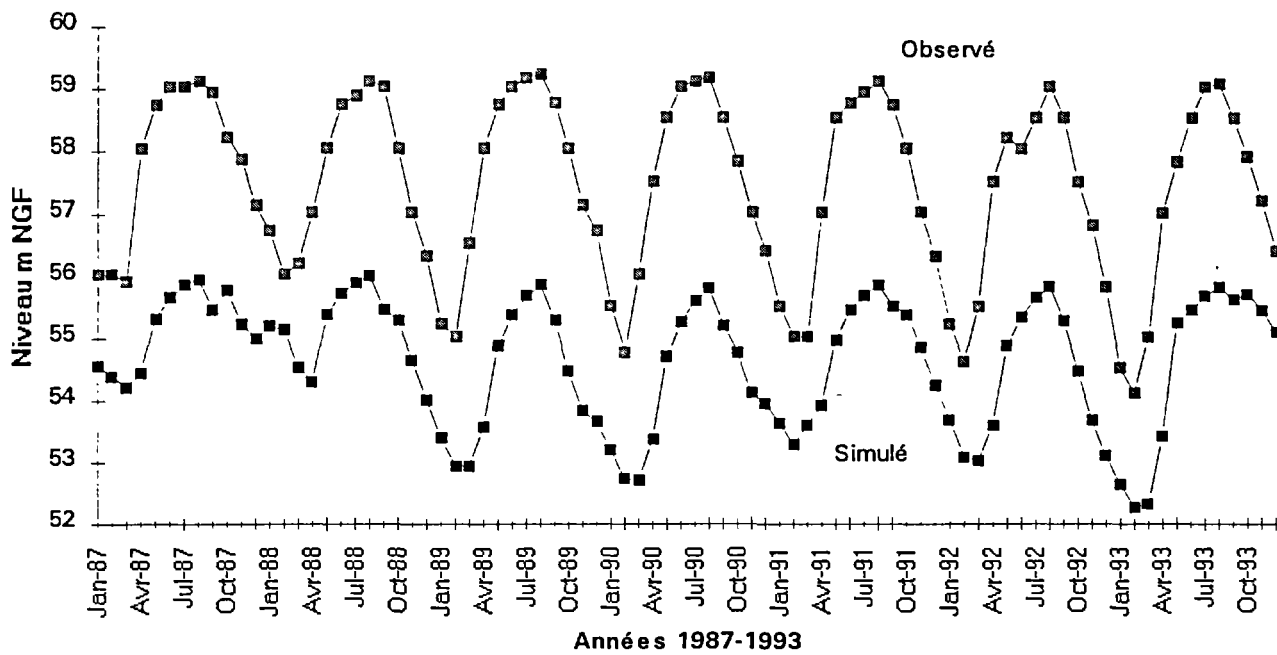


Figure 46 - Aureille P4

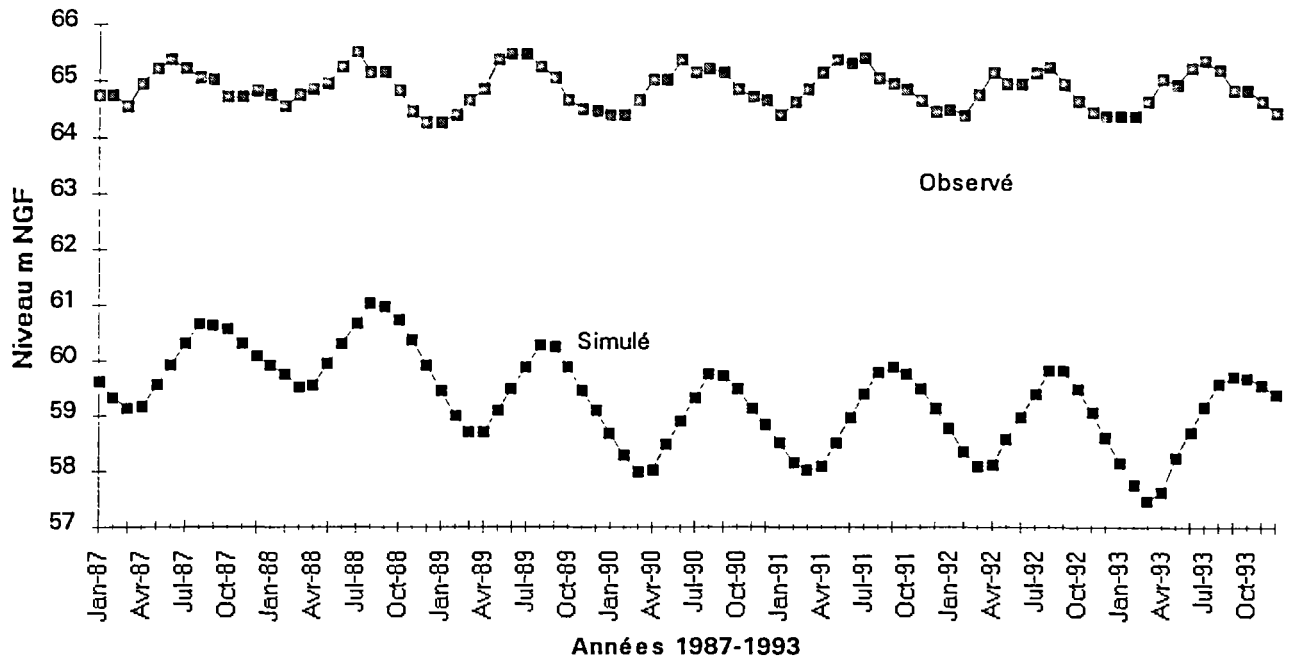


Figure 47 - Eyguières P1

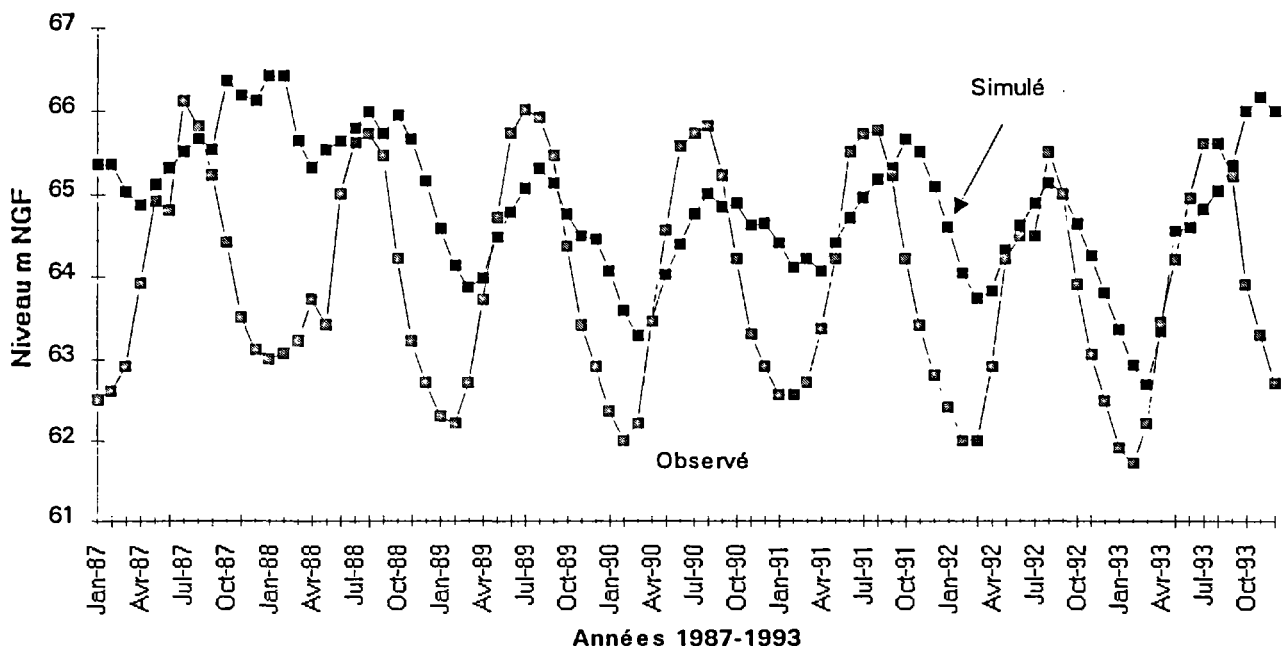


Figure 48 - Eyguières P4

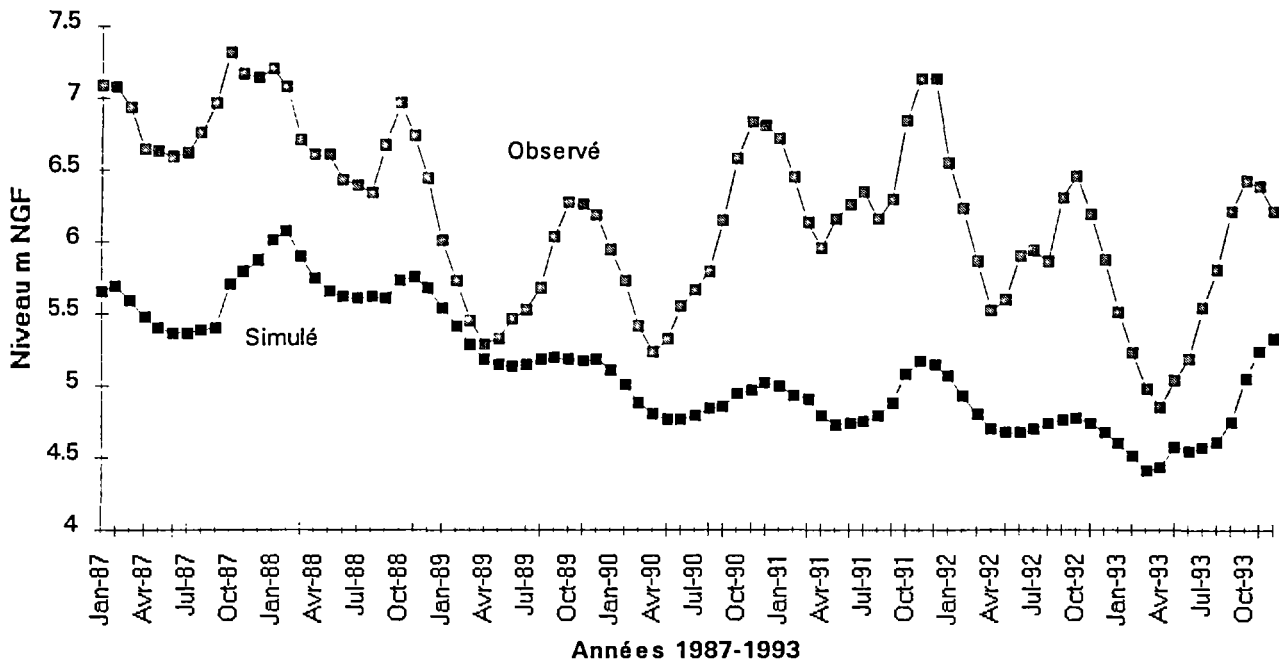


Figure 49 - Fanfarigoule

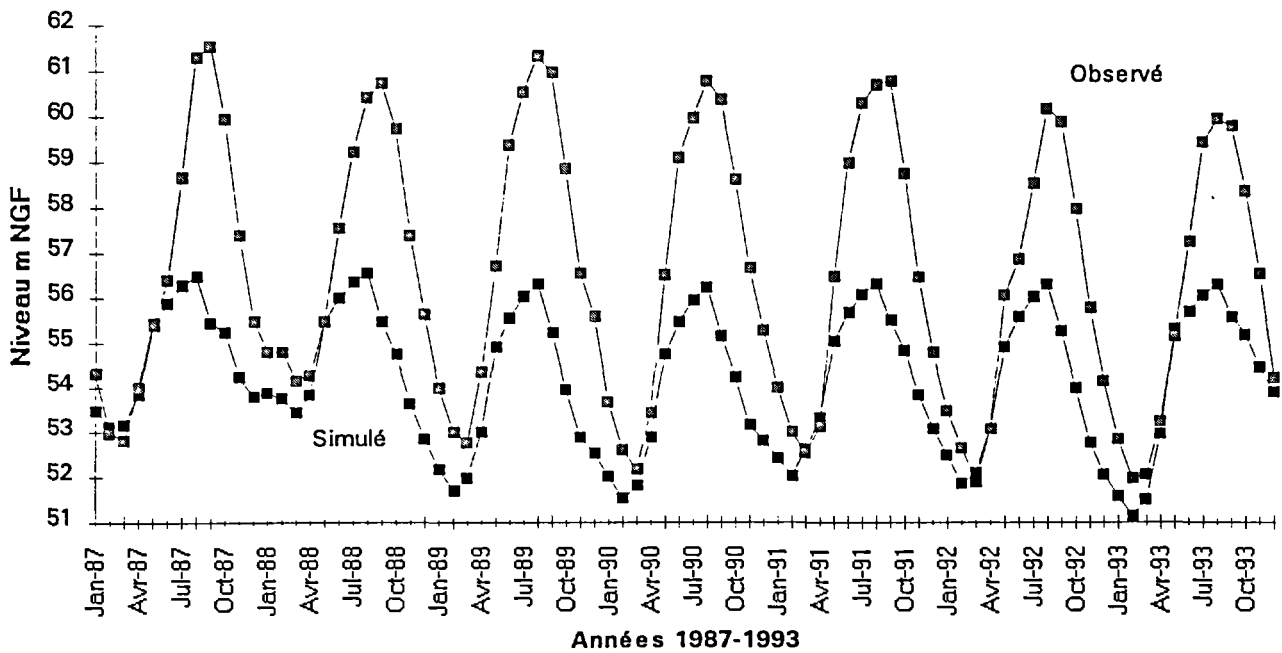


Figure 50 - Pont des Fioles

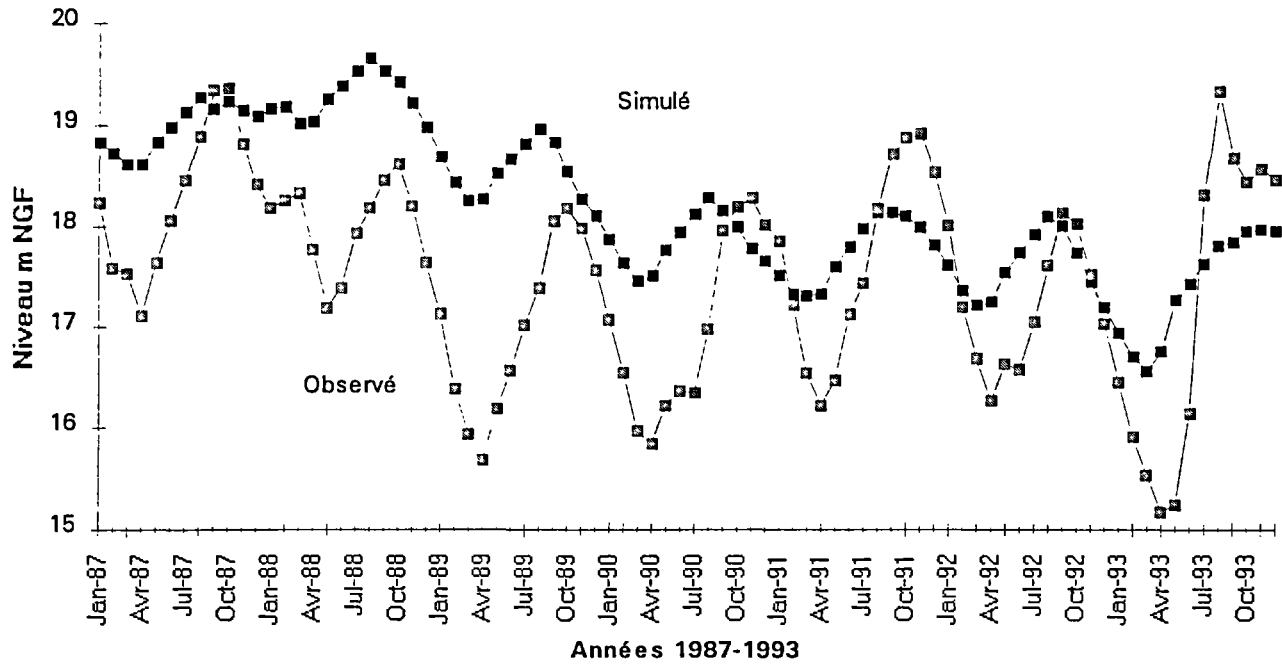


Figure 51 - La Caspienne F4

ANNEXES

ANNEXE 1

**NOMENCLATURE DES FICHIERS DU
MODELE**

Nom du fichier	Description des paramètres	Unités choisies pour MARTCRAU
CRAUMART.PER	Perméabilités	10^{-4} m/s
CRAUMART.DEB	Débits imposés (pompages AEP et AEI)	m ³ /h
CRAUMART.CHA	Charges hydrauliques	m
CRAUMART.EMM	Coefficients d'emmagasinement	10^{-3}
CRAUMART.GEO	Définition de zones à modification de données, fichier utilisé dans MARTCRAU pour simuler les pompages saisonniers d'irrigation des vergers (conjointement avec le fichier pas de temps)	codes : 0 ou 1
CRAUMART.SUB	Cotes du substratum	m
CRAUMART.TOP	Cotes topographiques	m
CRAUMART.INF	Zones d'infiltration (par les pluies) : une seule zone définie	code 1 partout
CRAUMART.IRR	Zones d'excès d'irrigation : 7 zones définies	codes : de 1 à 7
CRAUMART.MAR	Fichier paramètres généraux du modèle : dimensions, unités des données, paramètres de calcul, définition des mailles à historiques, etc	
CRAUMART.PAS	Fichier pas de temps, dates et modifications éventuelles apportées aux données du modèle pour chaque pas	pas de temps mensuel
CRAUMART.RMA	Fichier index : liste de tous les fichiers utilisés par MARTHE lors du lancement du programme	

ANNEXE 2

**OUVRAGES RECENSES COMME ATTEIGNANT
LE SUBSTRATUM DE LA NAPPE DE LA CRAU**

**OUVRAGES RECENSES COMME ATTEIGNANT LE SUBSTRATUM
DE LA NAPPE DE LA CRAU**

Ouvrage					Substratum
Identification dans BSS			Coordonnées (Lambert II)		Cote NGF
			X	Y	(m)
0992	4X	0058	785.62	153.41	-3.00
0992	4X	0059	786.94	153.74	0.00
0992	4X	0060	785.92	153.65	-19.00
0992	4X	0062	787.40	153.41	14.00
0992	4X	0063	788.18	152.79	-8.00
0992	4X	0101	785.99	152.77	-2.80
0992	4X	0102	785.29	153.56	-6.57
0992	4X	0109	785.30	153.50	4.00
0992	8X	0002	786.95	146.56	-32.50
0992	8X	0003	787.72	148.47	-15.90
0992	8X	0007	786.27	152.54	-7.50
0993	1X	0176	788.93	155.88	33.00
0993	1X	0179	790.64	153.16	4.00
0993	3X	0075	806.04	155.83	50.00
0993	4X	0016	812.70	156.50	62.20
0993	4X	0045	816.32	154.62	56.00
0993	4X	0058	813.10	155.20	54.50
0993	4X	0059	814.08	155.02	61.00
0993	4X	0060	813.87	154.30	55.20
0993	4X	0062	813.75	153.65	49.00
0993	4X	0066	815.44	157.16	61.00
0993	4X	0067	816.27	157.29	77.50
0993	5X	0088	795.77	146.44	3.89
0993	5X	0089	791.44	152.67	-9.00
0993	5X	0093	792.81	151.63	-30.00
0993	5X	0094	790.95	152.16	-14.55
0993	5X	0095	794.27	151.47	-19.30
0993	6X	0080	797.37	148.08	0.80
0993	6X	0087	797.96	143.98	-4.87
0993	6X	0098	797.99	150.06	6.00
0993	6X	0099	800.47	152.00	2.60
0993	6X	0101	800.34	149.78	8.90
0993	6X	0103	797.43	143.45	-3.50
0993	6X	0128	802.52	146.04	6.60
0993	7X	0077	805.29	145.26	18.66
0993	7X	0078	804.78	145.15	12.66
0993	7X	0079	804.62	149.24	27.70

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Ouvrage					Substratum
Identification dans BSS			Coordonnées (Lambert II)		Cote NGF
			X	Y	(m)
0993	7X	0080	805.15	148.3	22.00
0993	7X	0081	805.85	150.37	18.00
0993	7X	0082	804.09	147.21	18.05
0993	7X	0088	808.50	149.68	43.00
0993	7X	0089	804.35	143.46	5.50
0993	7X	0091	805.61	147.22	26.25
0993	7X	0092	805.49	147.04	25.30
0993	7X	0103	810.42	146.43	36.00
0993	7X	0108	806.16	149.28	25.75
0993	7X	0109	807.87	149.12	39.63
0993	7X	0110	804.98	148.03	20.80
0993	7X	0111	805.36	147.16	23.55
0993	7X	0112	805.83	147.14	23.15
0993	7X	0113	806.35	147.21	25.50
0993	7X	0114	803.95	147.13	18.10
0993	7X	0115	805.68	146.77	27.90
0993	7X	0116	804.65	146.31	21.80
0993	7X	0117	805.41	146.58	22.60
0993	7X	0118	806.23	146.52	28.40
0993	7X	0119	806.80	146.31	28.00
0993	7X	0120	803.52	145.27	6.70
0993	7X	0121	804.74	145.12	13.20
0993	7X	0122	805.67	147.7	23.00
0993	7X	0123	805.91	147.1	26.50
0993	7X	0124	805.45	147.73	29.25
0993	7X	0125	805.13	147.18	19.75
0993	7X	0126	805.22	146.42	24.00
0993	8X	0027	814.29	152.61	58.43
0993	8X	0036	816.18	151.19	60.58
0993	8X	0046	815.01	146.85	50.11
0993	8X	0059	814.70	145.50	44.00
0993	8X	0063	814.64	145.56	38.70
0993	8X	0064	814.72	145.61	39.80
0993	8X	0065	814.74	145.66	39.70
0993	8X	0066	814.72	145.70	45.10
0993	8X	0067	814.58	145.59	43.50
0993	8X	0077	811.21	145.15	28.00
0993	8X	0078	810.75	147.00	36.80
0993	8X	0122	812.95	149.08	45.50
0993	8X	0124	812.08	148.65	45.10
0993	8X	0126	811.63	145.96	17.00
0993	8X	0127	811.50	153.25	42.50
0993	8X	0128	815.24	148.07	45.00
0993	8X	0150	816.61	148.82	56.25
0993	8X	0152	811.67	147.10	36.70
0993	8X	0157	813.58	145.23	24.95

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Ouvrage					Substratum
Identification dans BSS			Coordonnées (Lambert II)		Cote NGF
			X	Y	(m)
0993	8X	0158	815.50	151.10	26.00
0994	1X	0020	821.92	157.61	94.32
0994	1X	0021	822.00	156.64	91.00
0994	1X	0066	821.57	159.1	102.00
0994	1X	0067	822.27	159.13	80.00
0994	1X	0068	822.20	159.15	108.85
0994	1X	0071	821.81	159.28	105.30
0994	1X	0072	821.62	159.46	103.83
0994	1X	0076	820.72	156.36	88.00
0994	1X	0077	820.45	156.59	89.50
0994	1X	0079	822.19	155.42	96.83
0994	1X	0085	821.70	159.35	106.00
0994	1X	0086	821.98	159.25	103.20
0994	1X	0143	821.85	155.80	88.02
0994	1X	0144	821.48	155.81	87.65
0994	1X	0145	821.92	155.41	87.76
0994	1X	0148	822.15	155.28	95.40
0994	1X	0151	818.13	155.6	71.00
0994	1X	0155	819.20	154.08	71.10
0994	1X	0165	817.67	158.67	100.00
0994	1X	0167	822.26	159.12	77.50
0994	1X	0182	820.18	157.02	91.10
0994	1X	0198	819.48	156.51	88.00
0994	1X	0201	817.75	158.10	84.00
0994	1X	0204	821.25	158.68	106.00
0994	1X	0209	818.59	154.04	55.00
0994	1X	0210	818.48	154.18	52.00
0994	1X	0212	821.94	158.36	94.72
0994	5X	0015	818.06	150.11	61.91
0994	5X	0018	820.89	150.53	64.22
0994	5X	0021	822.15	151.65	69.78
0994	5X	0022	822.84	150.99	67.95
0994	5X	0053	818.67	149.98	39.30
0994	5X	0054	821.43	151.35	64.00
0994	5X	0055	821.47	151.28	64.00
0994	5X	0056	818.50	150.40	49.80
0994	5X	0130	819.96	151.39	60.00
0994	5X	0131	819.14	150.42	62.00
0994	5X	0134	820.63	149.41	56.00
0994	5X	0155	818.46	150.83	61.00
0994	5X	0169	821.90	152.68	67.30
0994	5X	0171	821.91	152.73	68.20
0994	5X	0172	822.52	151.88	66.00
0994	5X	0177	818.41	150.31	60.00
0994	5X	0189	820.58	150.43	63.30
0994	5X	0191	820.37	150.78	64.00

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Ouvrage					Substratum
Identification dans BSS			Coordonnées (Lambert II)		Cote NGF
			X	Y	(m)
0994	5X	0193	820.19	150.76	62.80
0994	5X	0201	821.79	152.03	72.10
1019	1X	0045	794.80	138.82	-12.69
1019	2X	0045	799.11	139.80	-22.45
1019	2X	0047	802.08	136.09	-14.02
1019	2X	0049	801.54	139.86	-13.36
1019	2X	0050	799.68	142.00	33.01
1019	2X	0074	803.55	140.8	-1.00
1019	2X	0075	802.85	141.93	-2.00
1019	2X	0076	802.22	140.60	-5.00
1019	2X	0089	803.33	133.85	-19.10
1019	2X	0091	803.55	133.71	-20.13
1019	3X	0001	811.00	135.48	-0.70
1019	3X	0063	810.79	137.92	2.30
1019	3X	0064	809.26	139.33	9.20
1019	3X	0066	805.50	133.70	-26.00
1019	3X	0067	805.35	133.66	-14.70
1019	3X	0068	805.68	135.69	-8.70
1019	3X	0069	806.71	134.59	-9.00
1019	3X	0070	807.74	133.63	-10.40
1019	3X	0071	809.01	136.36	-18.55
1019	3X	0072	809.53	135.26	-21.30
1019	3X	0074	811.06	136.13	-0.73
1019	3X	0075	810.87	136.35	0.63
1019	3X	0076	807.73	133.64	-10.94
1019	3X	0080	803.80	137.53	-12.19
1019	3X	0081	807.22	140.22	10.74
1019	3X	0081	807.22	140.22	12.41
1019	3X	0082	806.52	139.89	4.38
1019	3X	0083	809.25	133.41	-31.07
1019	3X	0084	804.16	134.06	-14.84
1019	3X	0085	804.77	136.40	-7.10
1019	3X	0086	805.24	135.66	-7.80
1019	3X	0088	810.35	135.81	-13.00
1019	3X	0089	809.42	135.20	-15.05
1019	3X	0102	811.06	134.59	0.70
1019	3X	0103	810.73	134.83	-17.00
1019	3X	0104	810.02	134.92	-19.40
1019	3X	0105	810.96	135.14	-17.00
1019	3X	0106	803.95	138.60	-4.40
1019	3X	0107	804.70	139.70	-2.50
1019	3X	0108	804.80	141.57	4.00
1019	3X	0109	805.10	143.00	9.50
1019	3X	0110	803.95	142.50	2.00
1019	3X	0111	810.47	142.08	16.00
1019	3X	0114	810.22	135.35	-16.00

"MARTCRAU" : Actualisation du modèle de la nappe de la Crau

Ouvrage					Substratum
Identification dans BSS			Coordonnées (Lambert II)		Cote NGF
			X	Y	(m)
1019	3X	0115	809.54	136.04	-16.40
1019	3X	0116	810.67	135.72	-16.00
1019	3X	0117	810.72	133.45	8.00
1019	3X	0118	810.45	135.72	-16.00
1019	3X	0119	810.30	135.87	-16.00
1019	3X	0120	810.32	135.81	-15.00
1019	3X	0121	809.38	136.08	-17.00
1019	3X	0122	809.92	135.94	-16.40
1019	3X	0123	808.32	135.82	2.05
1019	3X	0124	808.18	135.40	0.60
1019	3X	0125	807.96	135.57	2.50
1019	3X	0126	808.55	135.65	3.84
1019	3X	0127	808.89	135.36	1.92
1019	3X	0128	808.56	136.62	5.50
1019	3X	0129	808.50	136.22	-6.00
1019	3X	0130	809.73	135.59	-6.98
1019	3X	0131	809.69	135.66	-6.91
1019	3X	0133	809.00	136.00	-6.80
1019	3X	0135	806.25	135.20	-9.00
1019	3X	0136	806.35	135.25	-9.00
1019	4X	0002	811.42	134.80	0.00
1019	4X	0042	813.30	140.78	31.68
1019	4X	0051	812.83	136.09	14.89
1019	4X	0053	813.45	138.16	14.85
1019	4X	0112	811.55	136.53	-0.50
1019	4X	0113	811.67	137.15	2.00
1019	4X	0114	811.47	137.75	5.00
1019	4X	0115	812.81	136.17	-4.75
1019	4X	0117	812.14	140.24	6.10
1019	4X	0151	811.52	140.97	7.00
1019	4X	0152	811.52	141.39	0.20
1019	4X	0153	811.80	140.77	3.00
1019	4X	0154	813.92	138.24	12.00
1019	4X	0165	813.83	137.87	17.60
1019	4X	0166	813.87	138.10	18.20
1019	4X	0167	813.96	138.35	18.84
1019	4X	0173	811.12	136.14	2.50
1019	4X	0174	812.16	135.20	8.60
1019	4X	0175	811.17	134.64	-0.10
1019	4X	0177	811.49	134.67	-2.50
1019	4X	0178	811.67	134.78	6.00
1019	4X	0179	811.80	134.83	8.40
1019	4X	0180	812.21	134.94	10.20
1019	4X	0181	812.39	134.97	10.00
1019	4X	0182	811.95	134.86	7.20
1019	4X	0186	812.09	139.63	12.80

ANNEXE 3

**REPARTITION DES PRELEVEMENTS EN
FONCTION DES USAGES D'AEP, AEI ET AEA**
(voir figure 19)

REPARTITION DES PRELEVEMENTS EN FONCTION DES USAGES D'AEP, AEI et AEA (voir figure 19)

Numéro maille	Description			Dénomination	Débit (m ³ /h)
	AEP	AEI	AEA		
1	AEP			Mas Thibert	76
2	AEP			Raphèle et St Hippolyte	1 029
3		AEI		Mas du Moulin	5
4			AEA	Irrigation	271
5	AEP			Cité Dynamite	24
6	AEP			Cité Dynamite	3
7	AEP			Zone Industrielle	4
8			AEA	SP Aulnes	50
9		AEI		Irrigation (6 mois/an)	23
10	AEP			Lion d'Or	122
11		AEI		Irrigation	10
12	AEP			Port St Louis du Rhône	350
13			AEA	Irrigation-Incendie	34
14		AEI		SOLLAC.	43
15	AEP			Mas de Payan	13
16	AEP			Z.I. de Fos	3
17		AEI		Industriel et Incendie	17
18	AEP			P.A.M.	15
19	AEP			Z.I. de Fos	305
20	AEP			Port de Bouc	308
21	AEP			Aureille	27
22	AEP			Port de Bouc	33
23		AEI		Industriel. Collet	10
24		AEI		Industriel	245
25			AEA	Irrigation E.R.G.M.	126
26		AEI		Industrie C.F.R.	370
27	AEP			Base d'Istres 125 et C.E.V.	25
28			AEA	Ferme Marchal	53
29		AEI		Industriel et domestique	105
30			AEA	Puits captage nappe Crau	987
31		AEI		Hameau d'Entressen	29
32	AEP			Rassuen	5
33		AEI		C.E.A.	55
34	AEP			Miramas-Sulauze	885
35		AEI		SNCF- Ateliers de Provence	52
36	AEP			E.R.G.M.	11
37		AEI		Miramas	50
38	AEP			Eyguières	25
39	AEP			Eyguières	53
40	AEP			Grans	68
41			AEA	Château de Richebois	150
42			AEA	Mas Faure	4
43	AEP			Salon	131
44	AEP			B.A. Salon	500