



SYMCRAU

**SYNDICAT MIXTE D'ETUDES
ET DE GESTION DE LA NAPPE
PHREATIQUE DE LA CRAU**

DIAGNOSTIC QUALITATIF / QUANTITATIF ET ANALYSE DE L'EVOLUTION DES RISQUES SUR LA NAPPE DE LA CRAU

Phase 1 : Diagnostic général de la Crau – Bilan quantitatif




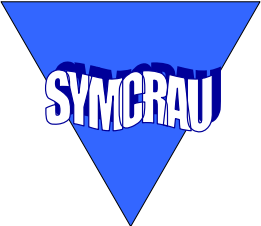



**CONSEIL
GENERAL
BOUCHES-DU-RHÔNE**



**Région
PACA**

**DIAGNOSTIC QUALITATIF /
QUANTITATIF ET ANALYSE DE
L'EVOLUTION DES RISQUES SUR
LA NAPPE DE CRAU**

**Phase 1 :
Diagnostic général de la nappe –
Bilan quantitatif**

 	<p>Diagnostic qualitatif / quantitatif et analyse de l'évolution des risques sur la nappe de la Crau</p>
<p>Maître d'ouvrage : SYMCRAU Cité des Entreprises – ZI du Tubé 13800 ISTRES Tel. : 04.42.56.64.86 Fax : 04.42.55.46.73</p> <p>Comité de pilotage : SYMCRAU, SAN Ouest Provence, CAPM (Communauté d'agglomération du Pays de Martigues), Saint Martin de Crau, Salon de Provence, Arles, Chambre d'Agriculture, DREAL, DDE 13, DDAF 13, Agence de l'eau, Conseil Général, Conseil Régional, Comité de foin de Crau.</p> <p>Auteur : GINGER ENVIRONNEMENT, Direction Spécialisée Prévention Risques Naturels Les Hauts de la Duranne, 370 Rue René Descartes, CS90340 13799 Aix-en-Provence Cedex 3 Tel. : 04 42 99 27 69 Fax : 04 42 99 28 44</p> <p>Chef de projet : C. Guérin</p> <p>Participants : O. Sonnet, S. Léonhard</p> <p>Date : mars 2009 N° d'affaire : RNA 08018</p>	
<p>Pièces composant l'étude :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 rapport final phase 1 « Bilan qualitatif » + annexes 	
<p>Partenaires financiers de l'étude :</p> <p>Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse Conseil Général des Bouches-du-Rhône Région Provence-Alpes-Côte d'Azur</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   <div style="text-align: center;"> <p>CONSEIL GENERAL BOUCHES-DU-RHÔNE</p> </div>  </div>	

LEXIQUE

AEA : Alimentation en Eau Agricole

AEI : Alimentation en Eau Industrielle

AEP : Alimentation en Eau Potable

AERMC : Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

BRGM : Bureau de Recherche Géologique Minière

CED : Commission Exécutive de la Durance

DDAF : Direction Départemental de l'Agriculture et de la Forêt

DDASS : Direction Départemental des Affaires Sanitaires et Sociales

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

E.H. : Equivalent Habitant

GPMM : Grand Port Maritime de Marseille

PE : Périmètre d'Etude

SOMMAIRE

I.	BILAN QUANTITATIF DE LA NAPPE : INTRODUCTION ET GENERALITES	7
1	GENERALITES	8
2	OBJECTIFS ATTENDUS DU BILAN QUANTITATIF DE LA NAPPE	8
II.	PIEZOMETRIE DE LA NAPPE	10
3	INTRODUCTION	11
3.1	<i>Inventaire des points de suivi actuels (BRGM – AERMC)</i>	11
3.2	<i>Inventaire des points de suivi GPMM</i>	13
4	RAPPEL DES PRINCIPES DE BASE DU CCTP ET DES LIMITES DE LEUR APPLICATION	14
5	ELABORATION DE CARTES PIEZOMETRIQUES – PERIODE 1997-2007	17
5.1	<i>Méthodologie appliquée</i>	17
5.2	<i>Traitement des données sources</i>	17
5.3	<i>Traitement cartographique des données</i>	18
6	CAS PARTICULIER DES OUVRAGES BRGM VENUS EN REMPLACEMENT DES OUVRAGES DIREN	20
6.1	<i>Ouvrages 157019 (DIREN) / 157031 (BRGM)</i>	22
6.2	<i>Ouvrages 157013 (DIREN) / 157033 (BRGM)</i>	22
6.3	<i>Ouvrages 157023 (DIREN) / 157032 (BRGM)</i>	23
6.4	<i>Ouvrages 157021 (DIREN) / 157030 (BRGM)</i>	23
6.5	<i>Ouvrages 157016 (DIREN) / 157029 (BRGM)</i>	23
6.6	<i>Ouvrages 157003 (DIREN) / 157028 (BRGM)</i>	24
7	ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE AVEC LA PLUVIOMETRIE ET L'IRRIGATION	24
7.1	<i>Méthodologie appliquée</i>	24
7.2	<i>Commentaires et interprétation</i>	25
7.3	<i>Période 2003-2007</i>	34
8	CARTE HYDROGEOLOGIQUE BRGM ISTRES / EYGUIERES (OCTOBRE 1967)	36
9	CONCLUSION	39
III.	ANALYSE DES DIFFERENTES SOURCES D'ALIMENTATION DE LA NAPPE	41
10	APPORTS PAR LA PLUVIOMETRIE	42
11	APPORTS PAR LE RESEAU D'IRRIGATION	44
11.1	<i>Problématique de l'irrigation en Crau</i>	44
11.2	<i>Volumes d'entrée</i>	45
11.3	<i>Evaluation des apports à la nappe via l'irrigation</i>	49
12	APPORTS PAR LE RESEAU DE DRAINAGE / ASSAINISSEMENT	50
13	AUTRES APPORTS : LES ENTREES NATURELLES	52
IV.	ANALYSE DES DIFFERENTES UTILISATIONS DE LA NAPPE	54
14	INTRODUCTION	55
15	DEMARCHES D'ENQUETE ET DE SYNTHESE	55
16	PRELEVEMENT AEP PUBLICS	59
17	PRELEVEMENTS AEP COLLECTIFS PRIVES	63
17.1	<i>Prélèvements AEP déclarés</i>	63
18	PRELEVEMENTS DOMESTIQUES INDIVIDUELS	65
18.1	<i>Méthode appliquée</i>	65
18.2	<i>Résultats et interprétation</i>	65
18.3	<i>Evolution et variante de la méthode</i>	69

19	PRELEVEMENTS A USAGE INDUSTRIEL	71
20	PRELEVEMENTS A USAGE AGRICOLE	73
21	CONCLUSIONS	75
V.	ANALYSE DES DIFFERENTES SORTIES NATURELLES DE LA NAPPE	78
22	PRINCIPALES ZONES HUMIDES DE LA CRAU	79
22.1	<i>Etang d'Entressen</i>	80
22.2	<i>Etang des Aulnes</i>	81
22.3	<i>Etang du Luquier</i>	81
22.4	<i>Marais des Chanoines et de Meyranne</i>	81
22.5	<i>Fontaines de Mouriès</i>	84
22.6	<i>Marais des Baux et marais de l'Ilon</i>	84
22.7	<i>Marais du Vigueirat – Marais de Coucou</i>	86
22.8	<i>Sources de Grans</i>	86
22.9	<i>Rivière La Touloubre</i>	87
22.10	<i>Zones humides artificielles :</i>	87
23	BILAN	90
VI.	CONCLUSIONS	91
VII.	ANNEXES	94

I. BILAN QUANTITATIF DE LA NAPPE :
INTRODUCTION ET GENERALITES

1 GENERALITES

Principale ressource en eau de la région PACA, l'aquifère de la Crau est caractérisé par un fonctionnement hydrodynamique très spécifique car fortement influencé par des apports en eau d'origine anthropique liés aux pratiques culturales cravennes. Près de la moitié de la Haute Crau, région verdoyante et couverte de cultures, bénéficie en effet de l'existence d'un dense réseau de canaux d'irrigation et de drainage qui contribue pour plus de moitié à la recharge de la nappe. Le régime de fluctuations annuelles artificiel qui en résulte est marqué par une période de « hautes eaux » estivale et une période de « basses eaux » hivernale en partie Nord de la nappe, périodes accusant un certain décalage temporel en partie Sud.

La ligne d'émersion située sur la bordure occidentale de la nappe libre entre Arles et Fos, qui regroupe marais et sources plus ou moins bien individualisées (les « laurons ») à niveau assez constant (de 0.5 à 1.5 m d'altitude), en constitue l'exutoire majeur.

La réserve en eau qu'elle constitue enfin, soit environ 550 Mm³, au-delà de l'intérêt qu'elle présente en termes d'alimentation des populations, est par ailleurs fortement sollicitée pour les besoins locaux dans les domaines de l'industrie et de l'agriculture.

2 OBJECTIFS ATTENDUS DU BILAN QUANTITATIF DE LA NAPPE

Ce volet de l'étude a pour objectif de permettre, outre une amélioration et une actualisation de la connaissance, de proposer un bilan hydrique simplifié de la nappe. Sur ce point, ont été étudiées les « entrées » et « sorties » lesquelles peuvent être résumées comme suit :

- ✓ Entrées d'eau (apports d'eau à la nappe)
 - la pluviométrie avec une hauteur moyenne annuelle de pluies qui peut être estimée entre 500-600 mm selon la station météorologique prise en référence (répartition sur deux périodes humides : septembre/décembre et mars/avril)
 - les entrées d'eau excédentaire par réseaux d'irrigation et d'assainissement
 - les entrées naturelles (dans la partie Nord principalement) ou artificielles (tranchées drainantes de Fos¹)
 - les apports éventuels par les plans d'eau.
- ✓ Sorties d'eau (décharge de la nappe)
 - les pompages destinés à l'AEP², l'AEI³ ou l'AEA⁴
 - les exutoires naturels (lignes de sources) et artificiels (tranchée drainante de Fos)
 - les pertes de la nappe au niveau des plans d'eau.

¹ Le terme de tranchée drainante n'est que partiellement exact puisque celle-ci évacue les eaux de la nappe lorsque le niveau de celle-ci est élevé, mais la recharge également lorsque son niveau baisse en dessous de la cote de « calage »

² AEP ou Alimentation en Eau Potable

³ AEI ou Alimentation en Eau Industrielle

⁴ AEA ou Alimentation en Eau Agricole (pour l'irrigation ou l'élevage)

Comme explicité dans les paragraphes suivants, leur quantification a nécessité, dans un premier temps l'acquisition de données via notamment des recherches bibliographiques et des entretiens, dans un second temps le traitement des données brutes.

Afin que le lecteur puisse apprécier les démarches adoptées, chaque méthodologie développée et appliquée en fonction des thématiques abordées – piézométrie, irrigation, (..) – est par ailleurs décrite.

II. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE

3 INTRODUCTION

La nappe de la Crau fait l'objet de suivis piézométriques depuis 1954, année de mise en place d'un réseau de mesures, comportant 232 points de surveillance, par EDF dans le cadre des études pour l'aménagement de la Basse-Durance.

Compte tenu de l'intérêt patrimonial mais également économique de l'aquifère de la Crau, les services de l'Etat (SRAE¹ de la DRAF puis DIREN PACA) ont pris le relais, dès 1970, en assurant le relevé périodique de 25 ouvrages de contrôle répartis sur l'ensemble du territoire de la Crau à l'exception de la frange littorale.

3.1 Inventaire des points de suivi actuels (BRGM – AERMC)

Les caractéristiques principales de l'ensemble de ces ouvrages, localisés sur le fond de plan ci-dessous, sont rappelées dans le tableau de la page suivante.

Les 25 ouvrages suivis par la DIREN ont été remplacés par 6 nouveaux points début des années 2000 (fin 2001 pour la plupart, 1 en 2002). Depuis lors, ces derniers font l'objet de mesures piézométriques régulières par le BRGM, qui s'est vu délégué cette mission dès 2003. Un point supplémentaire est également suivi par cet organisme aujourd'hui (ouvrage indicé 157034).

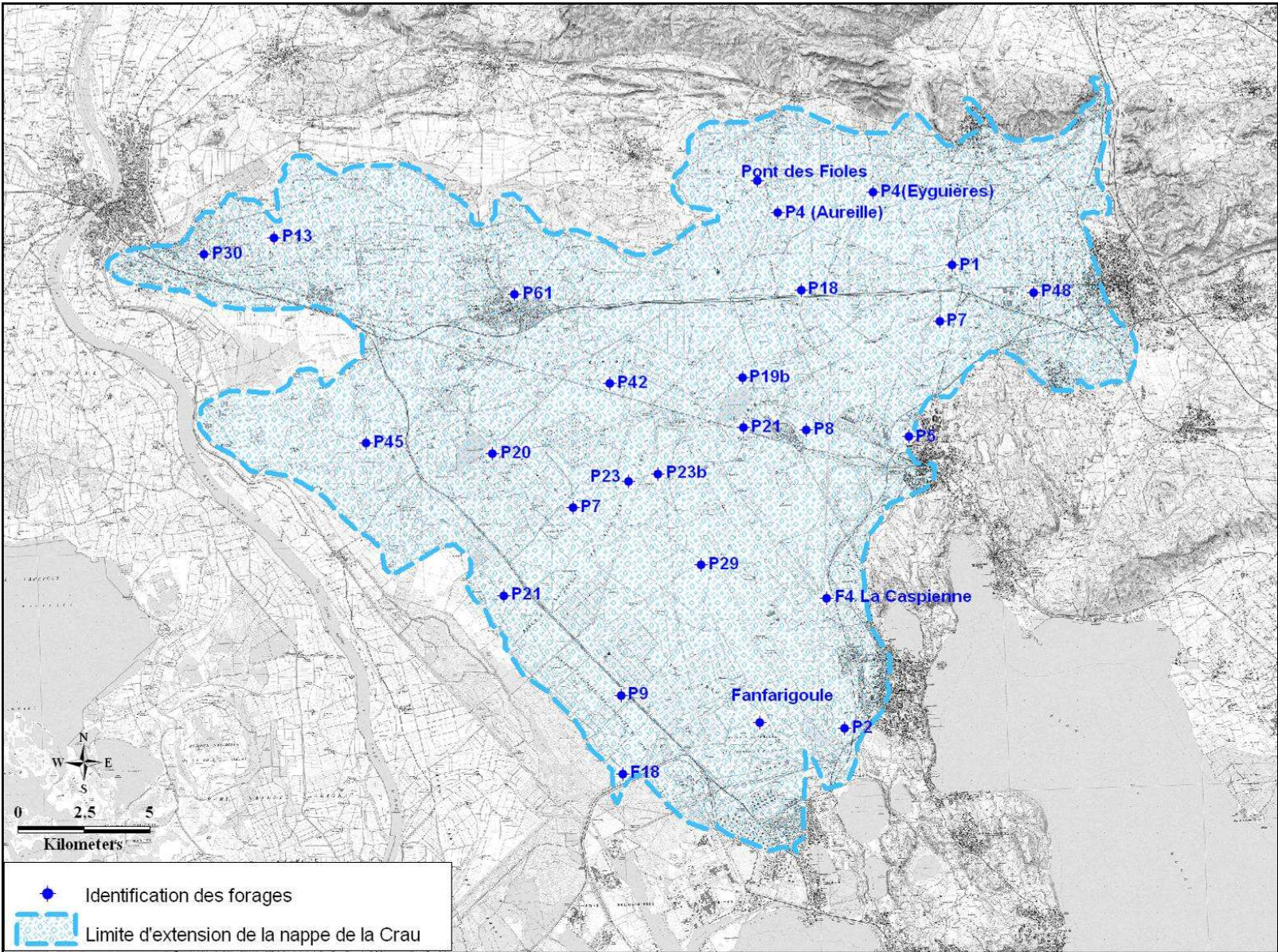
Le réseau patrimonial de suivi quantitatif des eaux souterraines de l'Agence de l'Eau RMC, consultable depuis le site ADES (<http://www.ades.eaufrance.fr>), compte par ailleurs 8 points de surveillance de la nappe de la Crau (cf. tableau ci-dessous).

N°BSS	Localisation	Type ²	Coordonnées géographiques (Lambert II étendu)		Altitude
			X	Y	
0993-3X-0082/F	Aureille (Les Fioles)	P et Q	non communiqué	non communiqué	64
0993-4X-0087/P18B	Saint-Martin de Crau	P	812 153	1 853 653	59
0993-7X-0133/P42B	Saint-Martin de Crau (Les Poulagères)	P	804 159	1 848 414	31
0993-7X-0134/P19T	Istres (Entressen Le Vallon)	P	809 126	1 848 681	47
0993-7X-0135/P23B	Saint-Martin de Crau (Le Petit Carton)	P	805 045	1 845 110	24
1019-2X-0094/F	Arles (Marais du Coucou)	P	804 045	1 833 691	3
1019-2X-0095/P21B	Arles (Bergerie De L'Oule)	P	800 284	1 840 696	4
1019-3X-0151/P29B	Istres	P	807 103	1 842 119	24

¹ SRAE ou Service Régional d'Aménagement des Eaux)

² 2 types : P pour piézomètre, Q pour qualitomètre

A noter que les plages de suivi de chacun des ouvrages listés dans le tableau précédent sont toutes inférieures à la période prise en référence dans le présent rapport, à savoir 1997-2007.



Inventaire des points de surveillance quantitative actuels de la nappe de la Crau : ancien réseau DIREN et points BRGM

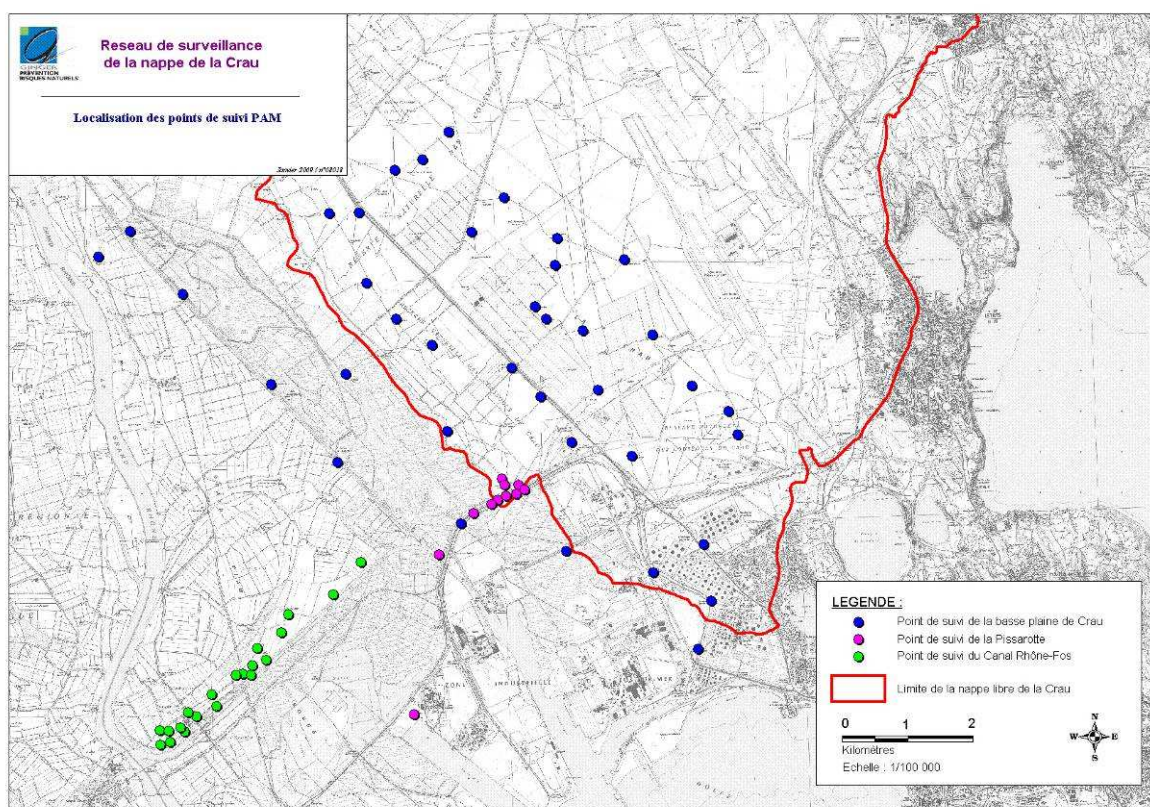
Commune	Identifiant	Coordonnées géographiques (Lambert II)		
		X	Y	Z
Arles	F18	804.20	134.15	1.95
	P9	804.14	137.10	8.83
	P13	791.02	154.36	28.25
	P21	799.70	140.85	4.54
	P30	788.37	153.72	23.25
	P45	794.48	146.62	21.40
Aureille	P9	804.14	137.10	8.83
	P4	810.04	155.30	60.53
Eyguières	Pont des Fioles (point BRGM)	809.28	156.50	64.28
	F1			
Eyguières	P1	816.65	153.32	83.00
	P4	813.66	156.07	69.22
Grans	P7	816.18	151.20	64.90
Istres	F4 La Caspienne (point BRGM)	811.91	140.77	30.75
	Fanfarigoule (point BRGM)	809.38	136.08	14.00
	P2	812.58	135.86	15.75
	P8	811.14	147.10	46.50
	P19b	808.73	149.08	45.75
	P21	808.76	147.20	40.55
	P29 (point du réseau patrimonial de suivi du bassin RMC)	807.14	142.02	24.70
Miramas	P5	815.00	146.85	53.10
Saint-Martin de Crau	P7	802.32	144.18	15.95
	P18	810.94	152.39	54.52
	P20	799.28	146.20	19.05
	P23	804.42	145.16	25.25
	P23b	805.53	145.44	28.35
	P42	803.70	148.88	32.20
	P61	800.11	152.23	24.05
Salon de Provence	P48	819.73	152.30	71.20

(Sources : DIREN, BRGM)

3.2 Inventaire des points de suivi GPMM

Le GPMM (Grand Port Maritime de Marseille) est également en charge, pour sa part, de la gestion d'ouvrages de suivi de la nappe (quantitatif et qualitatif) en bordure littorale. Leur localisation permet l'étude piézométrique de la nappe sur quatre secteurs particuliers :

- la basse plaine de Crau,
- la Pissarotte,
- le canal Rhône-Fos,
- la tranchée drainante.



Carte de localisation des ouvrages de suivi GPMM (hors réseau de la tranchée drainante)

Remarque :

Un certain nombre des points de suivi GPMM sont extérieurs au périmètre d'étude ; ceci concerne en particulier le secteur du canal Rhône-Fos à rattacher à la Camargue (zone captive de la nappe de Crau).

Concernant ceux relatifs à la tranchée drainante, aucune donnée relative à leurs coordonnées géographiques n'a pu être collectée d'où l'absence de report de ces derniers sur la carte ci-dessus. Il en va de même pour certains ouvrages dénombrés sur les secteurs de la basse plaine de Crau, de la Pissarotte et du canal Rhône-Fos.

Sur la base de nos contacts avec Mme. Magalie DEVEZE (responsable Service aménagement et développement durable du GPMM) et au vu des données bibliographiques recueillies, le nombre de points de surveillance des eaux souterraines suivis par le GPMM s'élèverait entre 40 et 50.

Ce réseau, mis en place dans les années 70's à 80's permet, d'une part de surveiller la propagation du biseau salé, d'autre part de veiller à l'absence de détérioration qualitative des eaux souterraines de la Crau localement exploitées pour l'AEP.

Pour ce faire, les ouvrages ont fait l'objet jusqu'en 2006 d'un relevé piézométrique annuel (en juin) ainsi que d'une mesure de la conductivité (traduite ensuite en salinité). Aucun relevé pour les années 2007 et 2008 ne semble avoir été effectué. Le programme de suivi devrait normalement être relancé courant 2009 après rénovation et densification du réseau actuel de surveillance (réalisation de nouveaux ouvrages faisant l'objet d'un marché en cours de notification).

4 RAPPEL DES PRINCIPES DE BASE DU CCTP ET DES LIMITES DE LEUR APPLICATION

Afin de rendre compte de l'évolution de la surface piézométrique de la nappe sur les plans temporel et spatial, le CCTP exigeait que soient uniquement retenus les ouvrages pour lesquels des chroniques piézométriques suffisamment longues (soit la période 1997-2007) sont disponibles. Ce principe de base devait permettre :

- d'étudier l'évolution année par année de la piézométrie en un même point de mesure,
- de favoriser une certaine cohérence des données d'entrée en vue de leur comparaison,
- d'établir des cartes de « hautes » et « basses eaux » pour chaque campagne de mesure,
- analyser l'influence des années particulières (années sèches 2003/2007 – arrêt des irrigations en août 2007).

Après synthèse de l'ensemble des données collectées, il est apparu impossible de satisfaire à ces exigences, aucun ouvrage de la nappe ne présentant des chroniques piézométriques suffisamment longues ou précises.

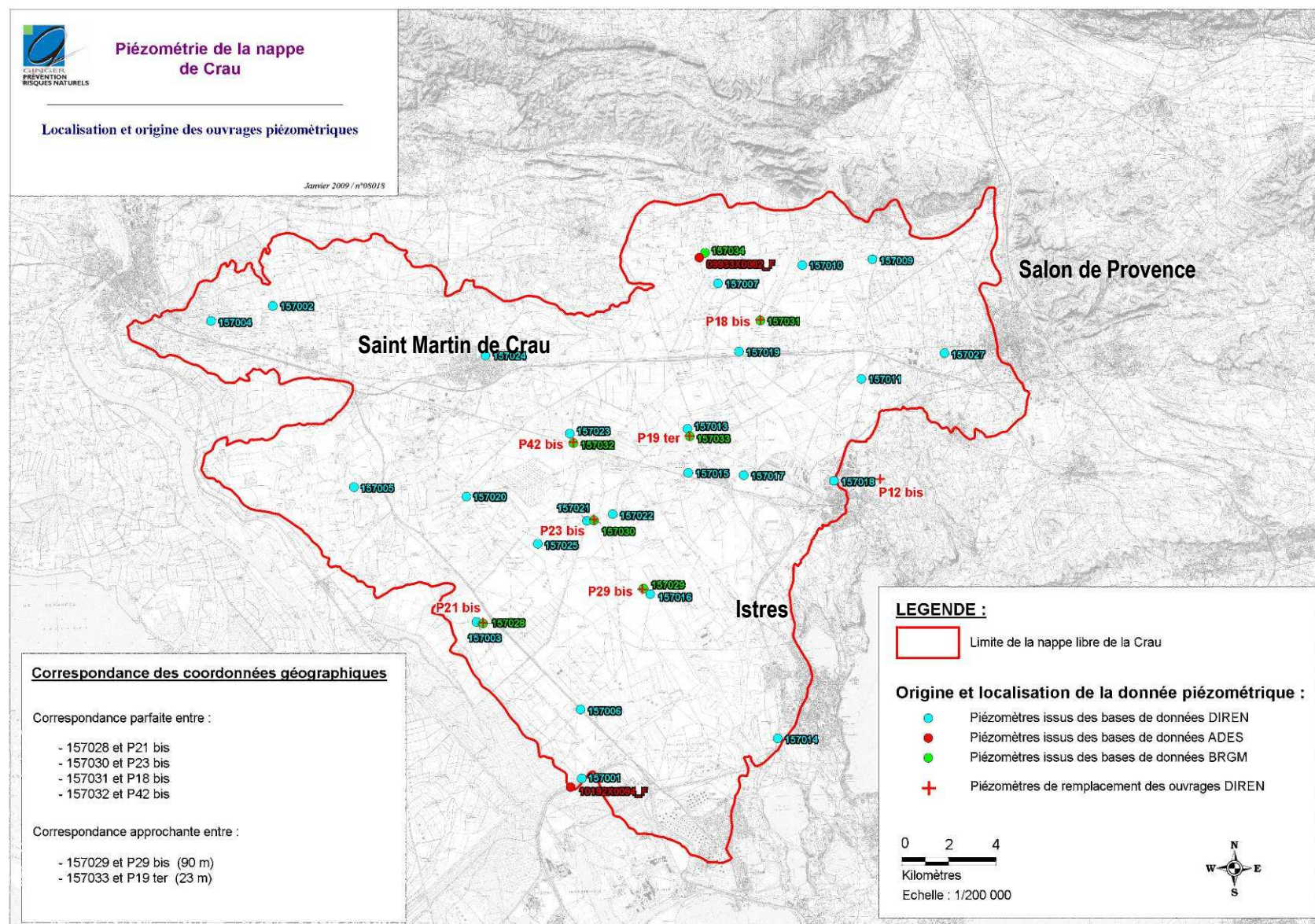
Un important travail de compilation des données, y compris celles relatives au géoréférencement des ouvrages, a par ailleurs été mené afin de mettre en évidence l'existence d'éventuels doublons, d'incohérences ou de manquements de mesures, l'absence de coordonnées géographiques des points, etc. L'aboutissement de ce travail a conduit aux observations du tableau de la page suivante.

Outre les problèmes soulevés quant aux correspondances d'ouvrages entre réseau et au géoréférencement de ces derniers, le traitement des chroniques piézométriques s'est avéré très complexe du fait de la grande variabilité des périodicités et années de campagnes de mesure, voire des erreurs constatées de report de données. A noter sur ce point que :

- **aucun ouvrage ne permet de couvrir l'intégralité de la période 1997-2007 initialement retenue dans le CCTP ;**
- **fonction des années prise en référence, le nombre d'ouvrages à considérer varie fortement ;**
- **aux ouvrages du GPMM sont associées, au mieux, des valeurs piézométriques annuelles ;**
- **certains ouvrages ont été exclus du traitement pour des raisons techniques (piézomètres défectueux), voire du fait de données exploitables trop peu nombreuses.**

Au vu de ces différents constats, et en particulier de la trop faible densité de points de mesure, choix a été fait de ne pas élaborer de cartes piézométriques au risque, le cas contraire, de donner une fausse image du fonctionnement hydrodynamique de la nappe (cf. paragraphe suivant).

Réseau	Localisation et référencement des points	Mesures piézométriques	Remarques
DIREN	<ul style="list-style-type: none"> - localisation et référencement de 3 points (F1, P1, P106) précisés par le BRGM 	<ul style="list-style-type: none"> - 3 ouvrages sans mesures de niveau pour 1997-2007 - mesures disponibles pour les autres ouvrages, au maximum, jusqu'en décembre 2002 - plusieurs mesures par an 	<ul style="list-style-type: none"> - couverture partielle de la période de suivi définie dans le CCTP (1997-2007)
BRGM	<ul style="list-style-type: none"> - 5 ouvrages sur 6 sans coordonnées. géographiques - correspondance supposée de 6 ouvrages BRGM et ADES (157028 à 157033) - coordonnées géographiques des points déterminées sur la base des données ADES (pour 4 points) et d'une lecture SIG 	<ul style="list-style-type: none"> - mesures disponibles uniquement à partir de 2003 - différences systématiques des valeurs piézométriques observées (écart constant) pour 4 des 6 ouvrages communs aux réseaux BRGM et ADES (15730 à 15732) - décalage possible entre les cotes NGF déterminées au droit des ouvrages DIREN et des ouvrages BRGM leur correspondant (ex : différence de - 2.78 m entre P29 et P29 nouveau) 	<ul style="list-style-type: none"> - correspondance entre points BRGM et ADES non validée par le BRGM mais supposée (notamment par comparaison des localisations géographiques et des données piézométriques) - bonne correspondance géographique entre 5 points de l'ancien réseau DIREN et du nouveau BRGM - différence de cotes entre ouvrages DIREN et ouvrages BRGM correspondant peu significative (exception faite de P29) : aucune correction apportée par le BRGM
ADES	<ul style="list-style-type: none"> - correspondance supposée entre 6 ouvrages ADES et BRGM (09934X0087/P18B, 09937X0134/P19T, 09937X0133/P42B, 09937X0135/P23B, 10193X0151/P29B, 10192X0095/P21B) - localisation des 2 autres ouvrages ADES, a priori, différente des autres points de suivi BRGM 	<ul style="list-style-type: none"> - plage 1997-2007 couverte par aucun des ouvrages de suivi - sur les 8 ouvrages ADES identifiés : <ul style="list-style-type: none"> • 4 présentent des écarts constants entre leurs valeurs piézométriques observées et celles du BRGM (P42B, P23B, P18B, P21B) • 2 ne présentent pas de différence en termes de chronique piézométrique (P29B et P19T) • 2 ne présentent, a priori, pas de correspondance entre données ADES et BRGM (données disponibles sur des périodes de temps différentes) 	<ul style="list-style-type: none"> - correspondance entre points BRGM et ADES non validée par le BRGM mais supposée (notamment par comparaison des localisations géographiques et des données piézométriques) - préférence donnée aux données piézométriques BRGM plutôt qu'à celles de la base ADES (cas des 6 ouvrages communs aux 2 réseaux)
GPM	<ul style="list-style-type: none"> - localisation de la majorité des points de suivi à l'extérieur du périmètre de la nappe libre de la Crau - absence de coordonnées géographiques pour certains points de mesure - détermination d'un certain nombre d'ouvrages défectueux (non exploitables) 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 seule mesure annuelle (juin) - pas de mesure au-delà de 2006 - période de mesure 1997-1998 couverte uniquement par les piézomètres de suivi de la Pissarotte (+ un ouvrage du réseau de la basse plaine de la Crau) 	<ul style="list-style-type: none"> - données piézométriques insuffisantes à l'établissement de cartes de « hautes » et « basses eaux » - couverture très partielle des premières années de suivi (période 1997-2007)



Carte de localisation des ouvrages DIREN, BRGM et ADES pris en référence pour l'établissement des cartes piézométriques

Pour pallier cet état de fait et après avis du Comité de pilotage, l'approche piézométrique de la nappe de la Crau a donné lieu :

- à l'étude comparée des relevés d'ouvrages DIREN et BRGM,
- à l'étude comparative de l'évolution de la piézométrie avec la pluviométrie et l'irrigation,
- à l'analyse, pour référence, de la carte piézométrique établie par le BRGM dans les années 60's.

L'ensemble des ouvrages pris en référence (cf. carte de la page précédente) et constituant le réseau de surveillance « quantité » de la nappe de la Crau ont fait l'objet de l'établissement d'une base de données Excel à laquelle a été associée une base de données SIG (Map Info). Les entrées ou champs renseignés des bases de données sont indiqués dans le tableau suivant :

Prélèvements AEP collectifs
Piézomètre
X Lambert II étendu
Y Lambert II étendu
Z sol (en m)
Z repère (m)
Nature point d'eau
Utilisation point d'eau
Secteur suivi
Remarques

5 ELABORATION DE CARTES PIEZOMETRIQUES – PERIODE 1997-2007

5.1 Méthodologie appliquée

Compte tenu des nombreux problèmes soulevés précédemment et notamment de l'absence de chronique piézométrique intégrale pour la période 1997-2007, quelque soit l'ouvrage de suivi considéré, la méthode appliquée pour la réalisation des cartes piézométriques a dû être adaptée au cas par cas.

5.2 Traitement des données sources

Une fois les problèmes de doublons et de géoréférencement résolus, 2 tableaux globaux ont été élaborés :

- le premier intéressant les ouvrages DIREN, BRGM et ADES pour lesquels sont disponibles, au mieux, des valeurs piézométriques mensuelles
- le second intéressant les ouvrages GPMM pour lesquels sont disponibles, au mieux, des valeurs piézométriques annuelles.

Ont ensuite été retranchées de ces derniers toutes les lignes correspondant aux piézomètres non exploitables du fait d'un manque de données : ouvrages défectueux (à sec, ...), période de suivi non représentative, etc.

Sur cette base, il a été procédé :

- dans une première étape, à la détermination des amplitudes annuelles des niveaux d'eau pour chaque piézomètre et au report des maxima / minima ainsi que des dates d'enregistrement correspondantes (exception faite des ouvrages du GPMM)
- dans une seconde étape, au choix des périodes de « hautes » et « basses » eaux (partie amont hydraulique de la nappe) selon les années de suivi considérées (1997-2007).

Remarque :

Considérant la partie amont de la plaine de la Crau, il apparaît au vu du tableau ci-dessus que les périodes de « hautes » et « basses » eaux s'échelonnent respectivement entre août-septembre (mois de fin d'été) et février-mars (mois de fin d'hiver). Cette remarque n'est toutefois pas extrapolable au reste du territoire.

Sur cette base, un tableau final regroupant les valeurs piézométriques correspondant aux différentes périodes de « hautes » et « basses » eaux arrêtées a été élaboré. Pour pallier le manque de données ponctuelles de certains ouvrages, la valeur piézométrique reportée a été choisie parmi les valeurs de données encadrant la date prise en référence.

Remarque :

L'essentiel des différentes démarches explicitées supra n'a été appliquée au tableau de données GPMM, les points de suivi du réseau « quantité » correspondants faisant l'objet d'un unique relevé annuel.

5.3 Traitement cartographique des données

L'établissement des cartes piézométriques de la nappe de la Crau, pour la période 1997-2007, a donné lieu au préalable à **différents tests d'interpolation** afin de définir celle la plus appropriée à un rendu cohérent de la piézométrie. Ces différents tests, au-delà des limites des méthodes employées qu'ils ont permis de mettre en évidence, rendent compte de l'importance à disposer de données suffisantes en nombre, à défaut dans le cas contraire d'obtenir des cartes très peu représentatives de la réalité.

Trois principaux types d'interpolation – *Natural Neighbour* (« voisin le plus proche »), *Triangulation*, *Kriging* (« *krigeage* ») – ont été testés, ceci à partir de deux logiciels : VERTICAL MAPPER et SURFER. Leurs principes de base sont présentés en page suivante.

En fonction du logiciel considéré, les différentes méthodes d'interpolation ont abouti à des résultats cartographiques plus ou moins proches de la réalité, voire à des résultats totalement aberrants. De manière générale, les cartes générées depuis VERTICAL MAPPER renforcent les effets de bords ; ceci est particulièrement visible pour les interpolations dites « du plus proche voisin » (*Natural Neighbour*) et de « triangulation ».

Comparaison faite des méthodes, il apparaît par ailleurs que l'interpolation *Natural Neighbour* accentue l'influence de certains points de suivi, ceci se traduisant par la génération d'isopièzes très curvilignes par endroit (phénomène difficilement explicable et n'apparaissant pas sur les cartes piézométriques prises en référence – BRGM et ANTEA).

❖ **Natural Neighbour (« voisin le plus proche ») :**

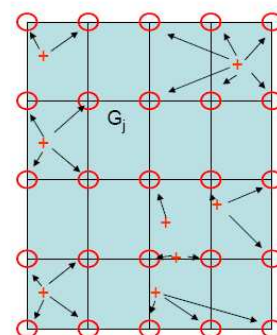
La méthode *Natural Neighbour* interpole à partir des points et non des *grid node* (nœud de réseau) comme le fait la méthode de *Triangulation* : interpolation par le « voisin le plus proche » (nearest neighbour interpolation).

Elle consiste à attribuer à chaque point cible une combinaison des valeurs des points sources les plus proches de son antécédent par la transformation inverse. Il s'agit d'une interpolation polynomiale d'ordre 0.

Dans le cas d'une dispersion aléatoire des points, et donc d'une hétérogénéité spatiale, il semble que les méthodes partant des points de données soient plus en phase avec les réalités terrain.

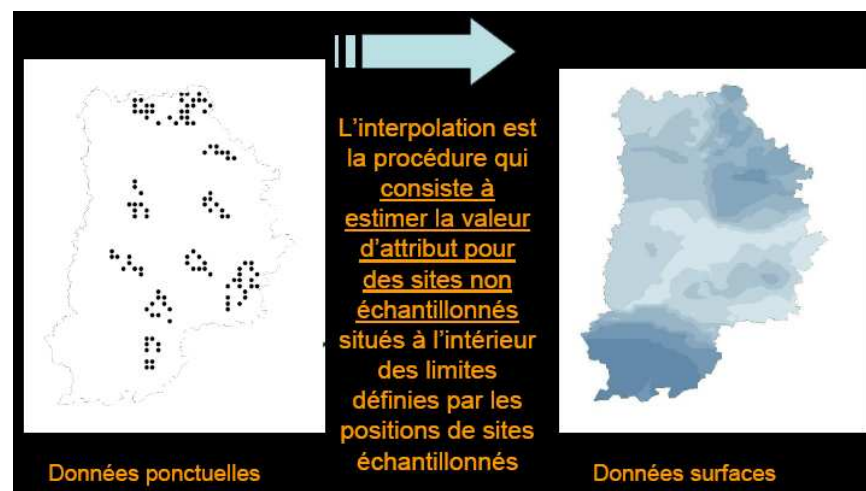
Méthode du Voisin le plus proche.

Chaque nœud de la grille prend la valeur du point observé le plus proche dans l'espace x, y .

❖ **Kriging (« krigeage »)**

Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale (principe d'autocorrélation spatiale) issue de la géostatistique, parfois considérée comme la plus juste d'un point de vue statistique. Elle permet une estimation linéaire basée sur l'espérance mathématique et aussi sur la variance de la donnée spatialisée. A ce titre, le krigeage se base sur le calcul, l'interprétation et la modélisation du variogramme qui est une appréciation de la variance en fonction de la distance entre les données.

Le krigeage est une méthode locale : les valeurs inconnues sont estimées à partir d'un voisinage de points échantillonnés.

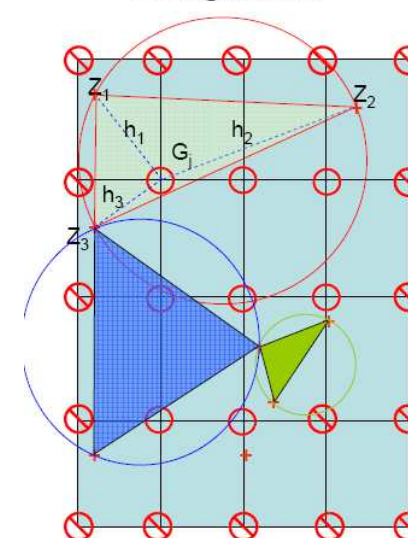
❖ **Triangulation :**

La méthode de triangulation irrégulière ou triangulation de Delaunay utilise un réseau de triangles équilatéraux (autant que possible) qui vont connecter les points du lot de données. L'algorithme crée des triangles en dessinant des lignes entre les points, ces mêmes lignes ne devant pas s'intersecter. Le résultat donne un patchwork de faces triangulaires recouvrant la grille.

Cette méthode permet de conserver des discontinuités dans les données.

Deux types de triangulation sont généralement distingués :

- « linear », interpolation linéaire (par défaut)
- « cubic », interpolation cubique.

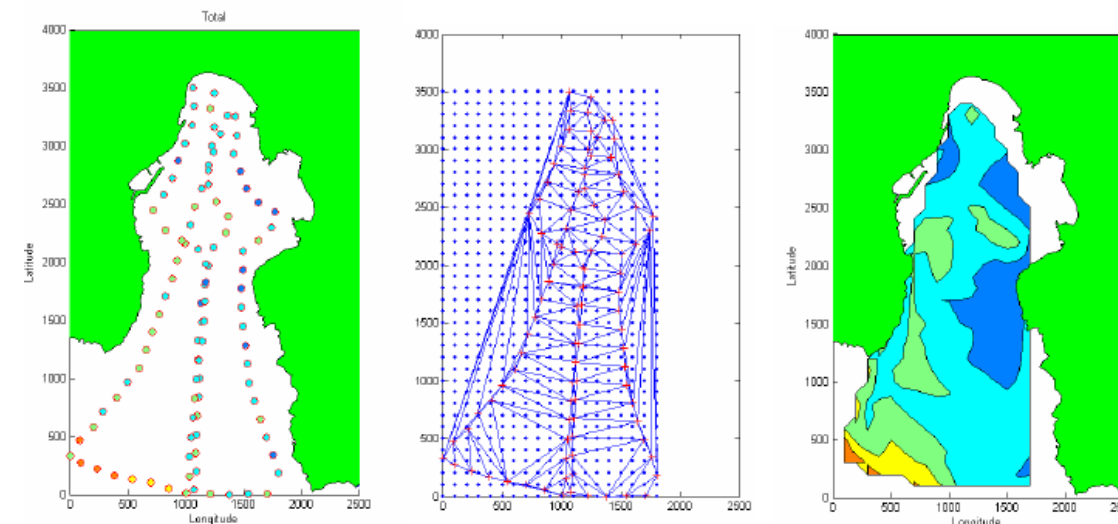
Méthode par Triangulation

G_j est calculé à partir des 3 valeurs Z du triangle dans lequel il est situé pondérées par l'inverse de la distance h_i .

Triangulation de Delaunay - propriétés du triangle : Le cercle dans lequel chaque triangle est circonscrit ne contient que les points définissant ce triangle



Pratique : On ne peut pas calculer de valeur pour les nœuds de la grille qui ne sont pas compris dans un triangle de points.



Exemple d'interpolation par triangulation (Source : J-P. LABAT)

Principes de base de trois méthodes d'interpolation

Les résultats les plus aboutis semblent finalement être obtenus par krigeage et via l'utilisation du logiciel SURFER qui, contrairement à VERTICAL MAPPER, permet un meilleur lissage des courbes piézométriques.

Des tests similaires ont été faits à partir des données piézométriques :

- issues des années pour lesquelles les chroniques « quantité » sont très peu renseignées,
- issus du réseau de suivi du GPMM.

L'ensemble des démarches menées nous ont finalement conduit à abandonner l'idée de rendu de cartes piézométriques de la nappe de la Crau pour la période 1997-2007, ceci faute de données sources suffisantes.

6 CAS PARTICULIER DES OUVRAGES BRGM VENUS EN REMPLACEMENT DES OUVRAGES DIREN

Au réseau de suivi de la DIREN, constitué initialement de 25 ouvrages, a été substitué un réseau BRGM comprenant 6 ouvrages. Le choix de la localisation de ces ouvrages de « remplacement » a été fait sur la base de la connaissance acquise sur l'aquifère de la Crau par la DIREN PACA à l'occasion des campagnes de mesures piézométriques.

Les 6 nouveaux piézomètres BRGM ont ainsi été implantés dans les secteurs, a priori, les plus représentatifs de l'hydrodynamique de la nappe et ce, à proximité des anciens points DIREN. Cette dernière condition n'apparaît pas réellement respectée pour un ouvrage indicé 157031(indice BRGM).

Leurs caractéristiques techniques divergeant de celles des piézomètres de la DIREN, en particulier pour ce qui a trait à leur profondeur et donc aux niveaux aquifères « captés », des décalages entre données piézométriques peuvent apparaître en fonction des ouvrages pris en référence.

Ouvrages DIREN	Ouvrages BRGM	Observations
P18 / 157019	157031	Piézomètres distants de 1.6 km
P19bis / 157013	157033	Faible distance d'éloignement
P42 / 157023	157032	Faible distance d'éloignement
P23 / 157021	157030	Faible distance d'éloignement
P29 / 157016	157029	Faible distance d'éloignement
P21 / 157003	157028	Faible distance d'éloignement

Tableau de correspondance des ouvrages DIREN - BRGM

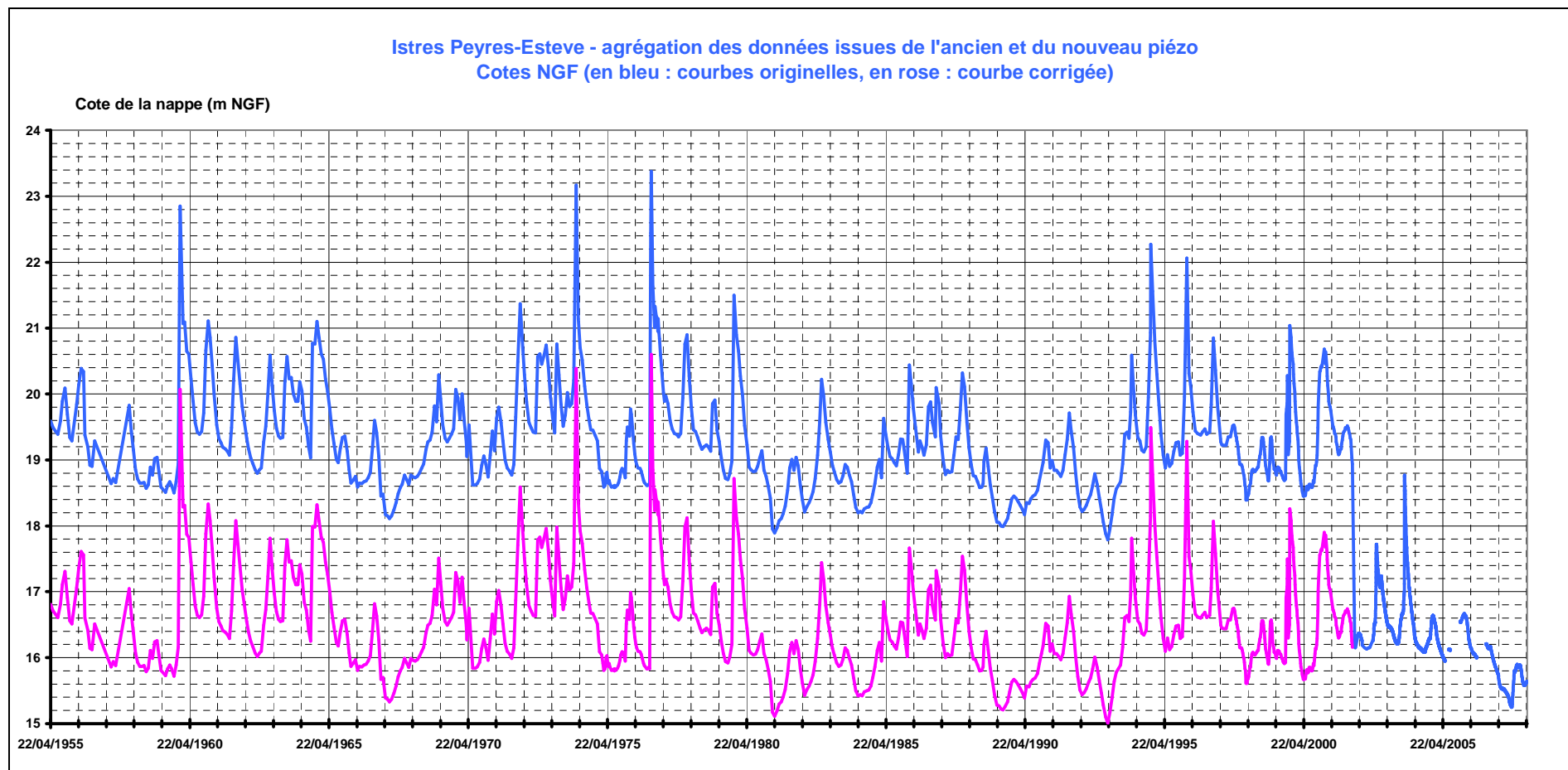


Diagramme de comparaison des données piézométriques acquises et corrigées au droit de l'ouvrage DIREN indicé P29 (Source : BRGM)

Ce problème a particulièrement été mis en évidence pour l'ancien ouvrage P29 (indice DIREN : 157016) remplacé par l'ouvrage BRGM 157029. Les comparaisons effectuées entre les chroniques piézométriques de ces deux points ont conduit le BRGM à affecter une correction de -2.78 m à l'ensemble des mesures acquises à partir de P29. La figure de la page précédente illustre ces propos.

Aucune autre correction n'a été apportée par le BRGM aux autres ouvrages.

Dans le cadre de la présente étude, des diagrammes piézométriques comparatifs ont été élaborés pour chacun des 6 autres ouvrages afin de voir si l'absence de correction se justifie ou si, au contraire, les variations induites en termes de niveau aquifère capté sont négligeables à l'échelle du territoire d'étude. Les différents diagrammes, précités et commentés ci-dessous, sont mis en annexe 1 du présent rapport.

Remarque :

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que les diagrammes comparatifs ont été établis à partir de données piézométriques acquises à des pas de temps variés (période d'enregistrement beaucoup plus resserrée dans le cas des ouvrages BRGM), d'où certaines différences induites entre les courbes d'évolution piézométriques (tendance au lissage pour les ouvrages DIREN).

6.1 Ouvrages 157019 (DIREN) / 157031 (BRGM)

La comparaison des chroniques piézométriques acquises pour les ouvrages 157019 (période 1997-2003) et 157031 (période 2003-2007), rendent compte d'un décalage systématique des mesures piézométriques. L'écart peut être estimé entre 3 et 3.5 m (augmentation des cotes piézométriques entre l'ancien et le nouvel ouvrage).

Cette différence semble pouvoir être imputée à un changement de niveau aquifère capté (conditions hydrodynamiques différentes). Cette hypothèse doit toutefois être contrebalancée par le fait que les 2 ouvrages considérés ne sont pas implantés à proximité immédiate mais distants de 1.6 km environ.

De fait, l'application systématique d'un facteur correctif aux données piézométriques inhérentes au point 157019 pose question et n'a pas été retenue dans le cas présent.

Il est par ailleurs intéressant de noter certaines similitudes entre les chroniques des deux piézomètres :

- cycle de pas de temps comparable
- forme des histogrammes très proches
- tendance enregistrée, dans les deux cas, d'une accentuation des étiages.

6.2 Ouvrages 157013 (DIREN) / 157033 (BRGM)

Les courbes piézométriques des ouvrages 157013 et 157033, pour la période 1997-2007, sont difficilement comparables, l'évolution de la piézométrie au droit des points ne mettant pas clairement en évidence de cycle hydrogéologique mais, au contraire, semblant rendre compte de l'influence de prélèvements voisins et/ou des apports par irrigation gravitaire.

Toutefois, les tendances générales ne permettent pas de conclure en l'existence d'un décalage systématique entre les chroniques de données. Aucune correction, de fait, n'est apportée.

Outre ces remarques, la chronique piézométrique de l'ouvrage DIREN 157013 présente deux « dépressions » difficilement explicables et, a priori, à rattacher à des erreurs de mesure (sous réserve de l'étude de la pluviométrie de l'époque). Les étiages restent en effet beaucoup moins marqués pour le restant de la période de suivi, même si une tendance à l'accentuation des baisses de niveau piézométrique est notée pour l'ouvrage 157033.

6.3 Ouvrages 157023 (DIREN) / 157032 (BRGM)

La forme générale des histogrammes représentatifs de l'évolution de la piézométrie au droit des ouvrages 157023 et 157032 est de même ordre (exclusion faite des micro-fluctuations enregistrées pour le point BRGM) :

- cycle de même durée
- amplitude de variation des niveaux piézométriques de même ordre.

Aucun décalage des cotes piézométriques significatif d'une variation des conditions de suivi de la nappe n'est pas ailleurs observée, d'où l'absence de correction apportée aux données piézométriques de l'ouvrage DIREN.

Au-delà de ces remarques, la tendance évolutive caractéristique de ce diagramme va dans le sens d'un abaissement continu des niveaux de hautes et basses eaux de la nappe au droit du secteur de suivi (Ouest de l'étang d'Entressen).

6.4 Ouvrages 157021 (DIREN) / 157030 (BRGM)

La comparaison des courbes piézométriques inhérentes aux ouvrages 157021 et 157030 ne permet pas de conclure en l'existence d'un décalage systématique entre mesures piézométriques DIREN et BRGM. Les niveaux aquifères captés par ces deux ouvrages, de fait, semblent être les mêmes d'un point de vue du fonctionnement hydrodynamique. Aucun facteur correction n'a ainsi été appliqué aux données sources.

Les enregistrements BRGM permettent la distinction de cycles de 12 mois environ (peu lisible sur la courbe lissée de la DIREN) et de micro-fluctuations caractéristiques, a priori, d'apports à la nappe par irrigation gravitaire :

- période de « hautes » eaux en fin d'été (voire un peu plus tard dans la saison en 1999, 2000-2001, 2004),
- période de « basses » eaux en fin d'hiver,
- décroissance quasi-continue du niveau piézométrique de la nappe entre septembre-octobre et mars-avril.

6.5 Ouvrages 157016 (DIREN) / 157029 (BRGM)

Les chroniques piézométriques des points 157016 et 157029, comparées entre elles, ne rendent pas compte d'un décalage entre les mesures induit par un changement d'ouvrage de suivi. En effet, les données piézométriques BRGM sont dans la continuité des dernières valeurs enregistrées par la DIREN pour la période 2002-2003, à savoir une importante diminution du niveau de la nappe (de l'ordre de 2.20 m) et une stabilisation à la baisse de celui-ci après 2001.

A noter sur ce point, une nouvelle tendance à l'abaissement de la cote piézométrique de la nappe depuis 2007, tendance qu'il serait intéressant de caractériser et d'expliquer en fonction des suivis des années 2008 et 2009 (phénomène lié à un déficit hydrique, à une évolution des pratiques culturales, à la multiplication de prélèvements, ...).

Malgré les différences induites par des protocoles d'enregistrement de données variables entre la DIREN et le BRGM ainsi que l'absence de mesures, la courbe piézométrique globale permet la distinction de cycles plus ou moins réguliers avec :

- des étiages plutôt en été,
- des « hautes » eaux plutôt en hiver.

Ceci diverge des constats faits précédemment pour les ouvrages situés en haute Crau et laisse supposer un retard dans le transfert des apports à la nappe depuis l'amont (surplus d'irrigation).

Il est toutefois intéressant de signaler une meilleure reproductibilité des cycles hydrogéologiques depuis 2002, la forme des hydrogrammes des années antérieures étant beaucoup moins nette et marquée.

6.6 Ouvrages 157003 (DIREN) / 157028 (BRGM)

Aucune correction entre les données piézométriques des ouvrages DIREN et BRGM ne semble devoir s'appliquer dans le cas des points 157003 et 157028. Une diminution des cotes piézométriques est en effet bien observée mais semble être imputable à une tendance évolutive à la baisse des niveaux de la nappe dans le secteur d'étude : sévérité accrue des étiages depuis 1997.

Par ailleurs, les chroniques rendent compte de l'existence de cycles hydrogéologiques de durée quasi-équivalente ainsi que d'amplitudes moyennes de variations piézométriques de même ordre.

Les mesures de l'année 2002, pour leur part, semblent très peu représentatives de la réalité et soulèvent la question d'éventuelles erreurs d'enregistrement.

7 ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE AVEC LA PLUVIOMETRIE ET L'IRRIGATION

7.1 Méthodologie appliquée

La démarche développée a consisté, dans un objectif de comparaison des tendances évolutives de la piézométrie avec les sources principales d'apport à la nappe :

- d'une part d'établir les courbes d'évolution des niveaux piézométriques, entre 1997 et 2007, pour chaque ouvrage de suivi pris en référence,
- d'autre part de les associer aux cumuls mensuels de pluie et d'irrigation en Crau.

Les données sources utiles, outre celles relatives à la piézométrie, ont été collectées auprès des services de Météo France (pluie) et de la CED – Commission Exécutive de la Durance (volumes d'eau d'irrigation).

Remarque :

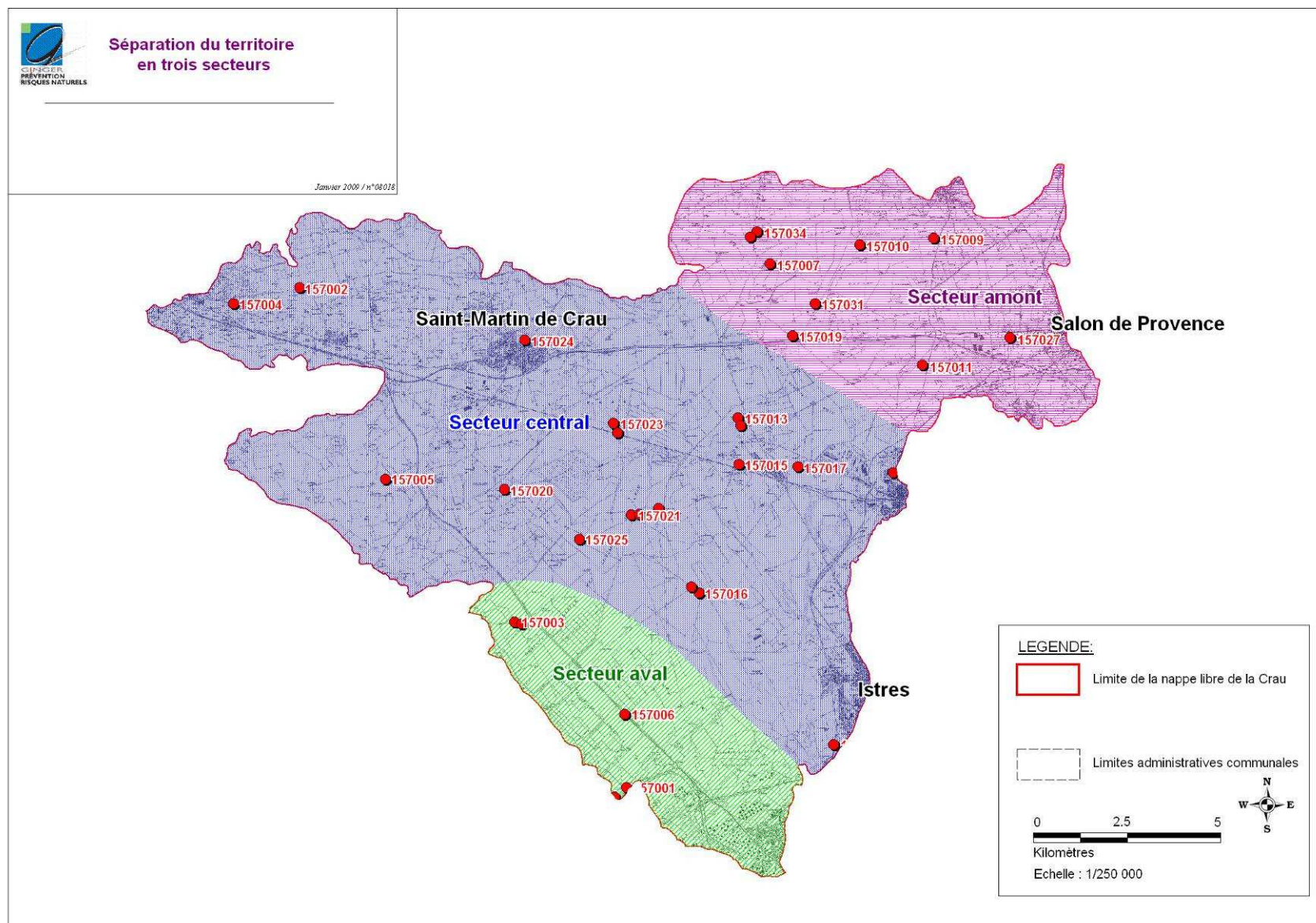
Les valeurs de pluviométrie correspondent aux moyennes pondérées obtenues à partir des données issues des 4 stations pluviométriques prises en référence dans le cadre de la présente étude (Arles n°13004003, Istres n°13047001, Port de Bouc n°13077001 et Salon-de-Provence n°13103001).

7.2 Commentaires et interprétation

L'intégralité des diagrammes et cartes établis sont présentés en pages suivantes.

Par souci de compréhension et de lisibilité des diagrammes, les points de suivi de la nappe de la Crau ont été étudiés par secteur comme explicité dans le tableau ci-dessous.

Secteur de suivi	Points de référence
Secteur amont hydraulique	157019, 175011, 157031, 157007, 09933X0082/F, 157034, 157010, 157027, 157009
Secteurs intermédiaires	157022, 157023, 157032, 157015, 157017, 157018, 157013, 157033
	157025, 157014, 157020, 157029, 157030, 157021, 157002, 157004, 157005, 157024, 157016
Secteur aval hydraulique	157001, 10192X0094/F, 157006, 157028, 157003



7.2.1 Secteur amont hydraulique

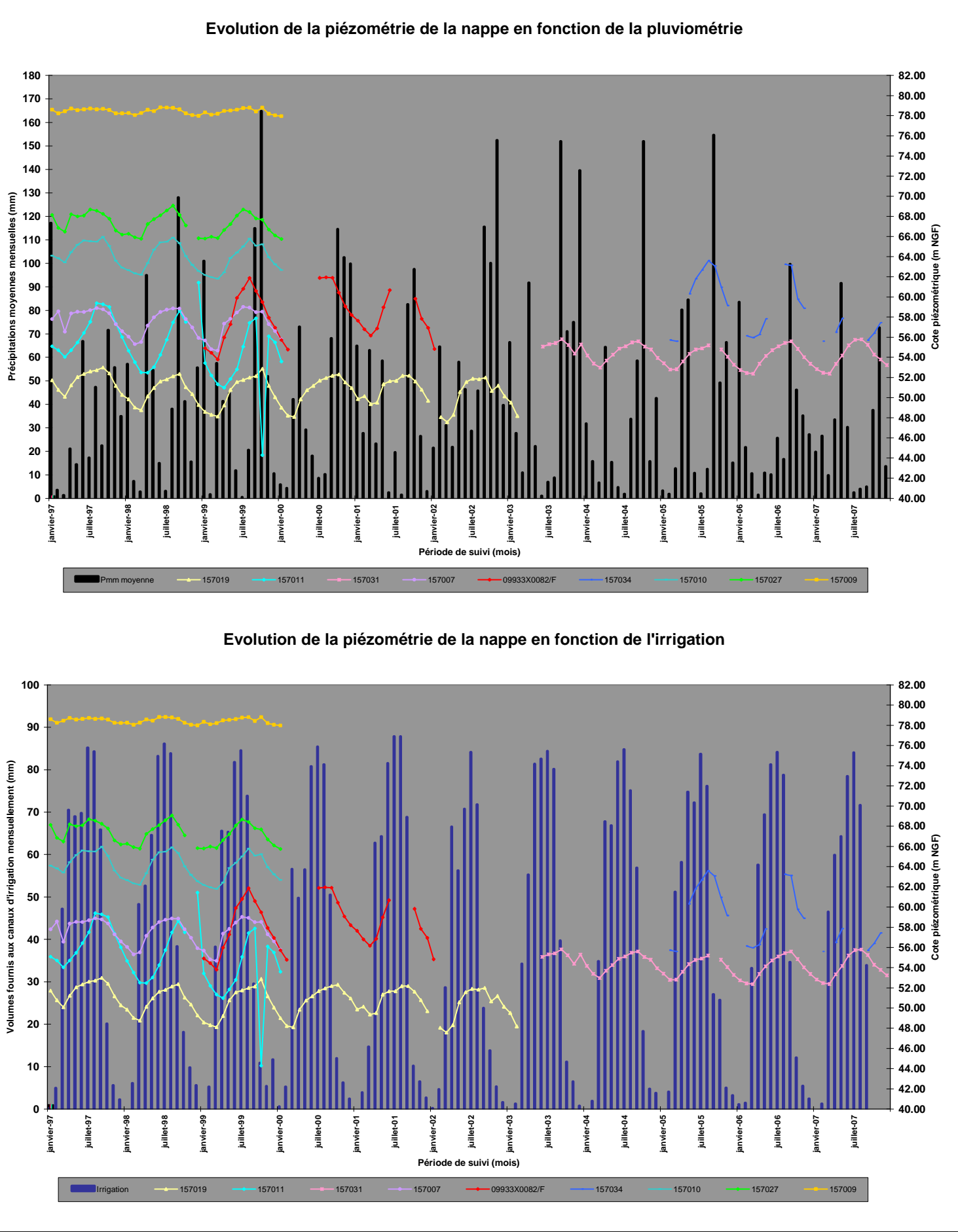
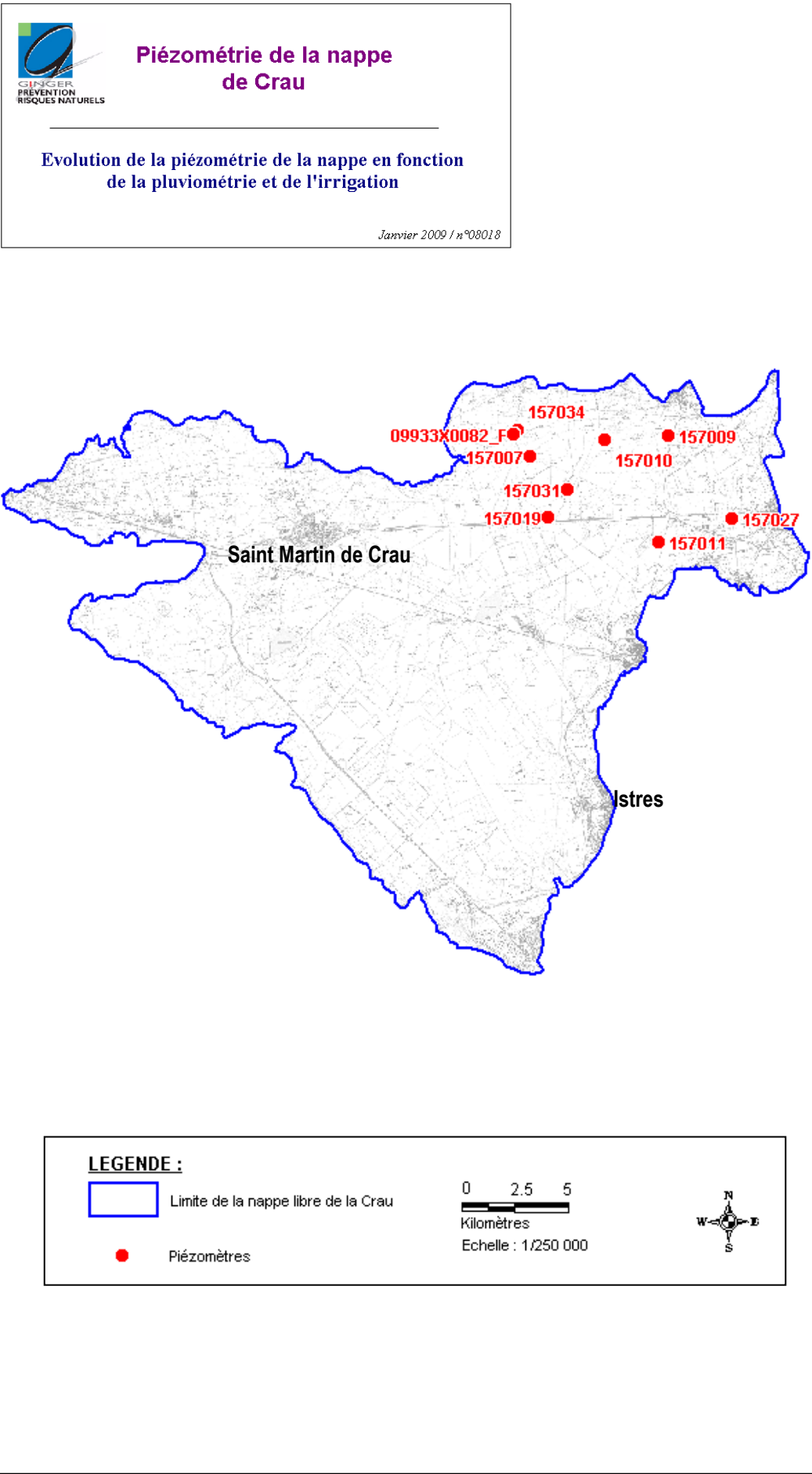
Dans ce secteur particulier de la nappe de la Crau, l'ensemble des ouvrages, exception faite de celui indicé 157009, semble être sous influence directe de l'irrigation.

En effet, leurs périodes de « hautes eaux » sont conditionnées par la saisonnalité des pratiques d'irrigation en territoire craven. Les observations suivantes peuvent également être faites :

- retard d'enregistrement des hauteurs d'eau maximales de 1 à 2 mois par rapport au mois le plus irrigué (juillet généralement)
- réaction aux apports à la nappe différente selon les ouvrages considérés :
 - montée et descente linéaires ↔ réaction immédiate et non atténuée de la nappe (ouvrages 09933X0082/F et 157011)
 - montée en deux phases (changement de pente) et tarissement amorti ↔ réaction immédiate rapide suivi d'un amortissement (ouvrages 157027, 157010, 157007 et 157019).

Partant de ces constats, il apparaît que le territoire de la Haute Crau bénéficie d'une recharge importante via l'irrigation des parcelles agricoles. Ceci se traduit :

- en termes de temps, par des maxima piézométriques répartis entre août et septembre
- en termes hydrodynamique :
 - globalement par une bonne réactivité de la nappe,
 - plus localement par des capacités d'emmagasinement et de restitution de l'eau infiltrée plus ou moins marquées spatialement (transfert vers l'aval plus ou moins rapide).



Concernant le point 157009 situé le plus en amont de la nappe, l'amplitude des variations piézométriques reste limité et ne semble pas révéler d'effet direct de l'irrigation et/ou de la pluviométrie sur la nappe.

Remarque :

Ces différents constats nécessiteraient validation pour les points où les chroniques s'avèrent être très lacunaires (09933X0082/F et 157034).

7.2.2 Secteurs intermédiaires

Deux secteurs distincts sont ici distingués selon les cotes piézométriques des ouvrages de suivi ; ces deux secteurs couvrent respectivement :

- la zone centrale du territoire de Crau,
- la partie O-SO du territoire de Crau.

❖ Zone centrale du territoire de Crau (cf. figure page suivante)

La cote piézométrique des ouvrages inclus dans ce secteur particulier est globalement comprise entre +25 et +45 m NGF.

L'étude comparée des cumuls de pluie et d'irrigation avec les chroniques piézométriques ne permet pas de conclure clairement quant à l'importance relative des apports en eau, via l'agriculture et la pluviométrie, sur la nappe. Une exception toutefois pour les ouvrages 157023 et 157032 qui, au vu des diagrammes établis, apparaissent sous influence directe de l'irrigation (concomitance entre période d'irrigation et période de « hautes eaux » ; enregistrement des maxima piézométriques entre juillet et septembre).

Il en va de même pour le point 157018 bien que la forme de sa courbe d'évolution piézométrique soit quelque peu différente (montée et descente linéaires) et l'enregistrement des hauteurs d'eau maximales plus tardif (mois de septembre) mais plus stable dans le temps.

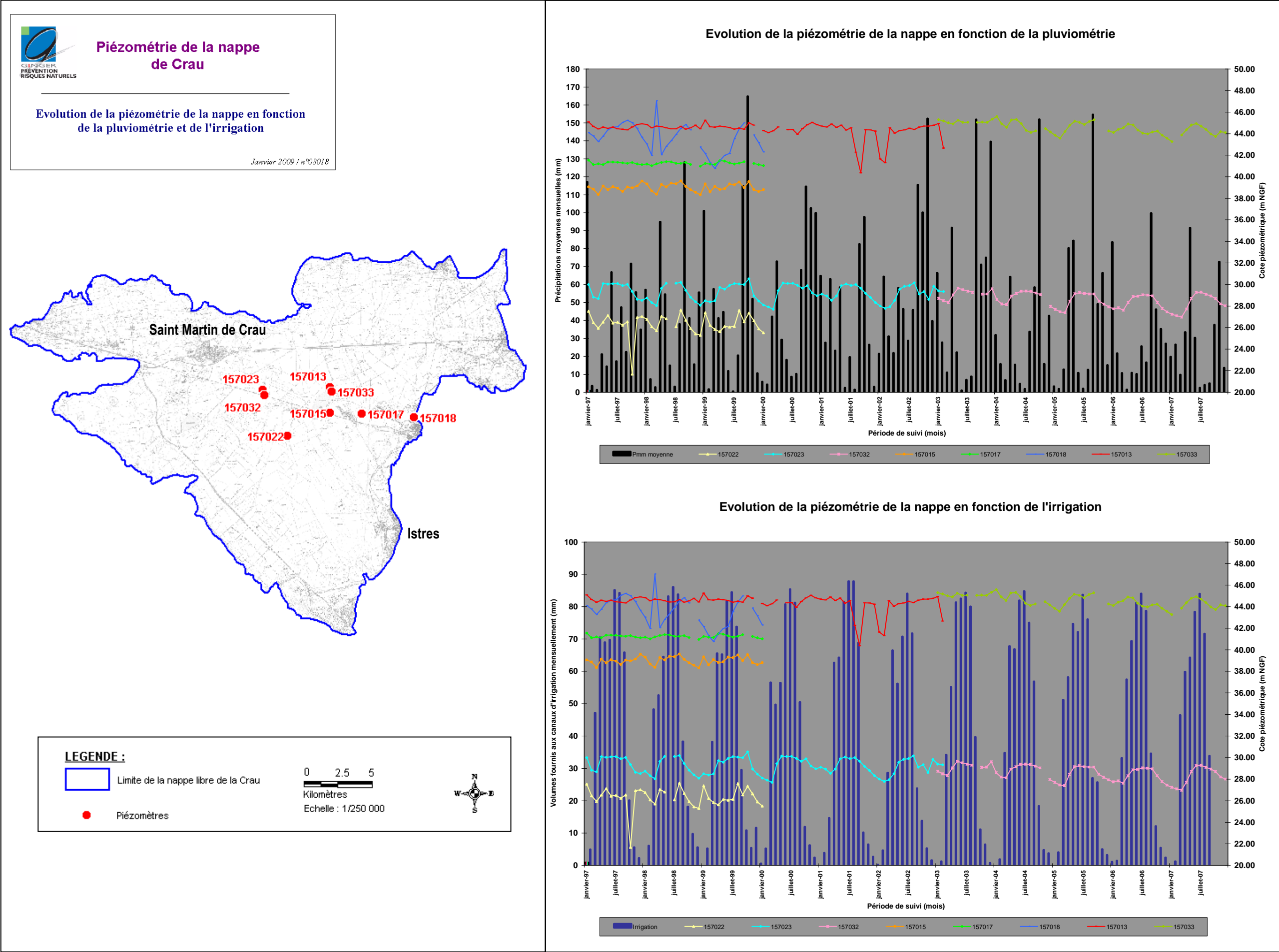
Les mesures de niveau d'eau effectuées à partir des autres ouvrages sont plus ambiguës.

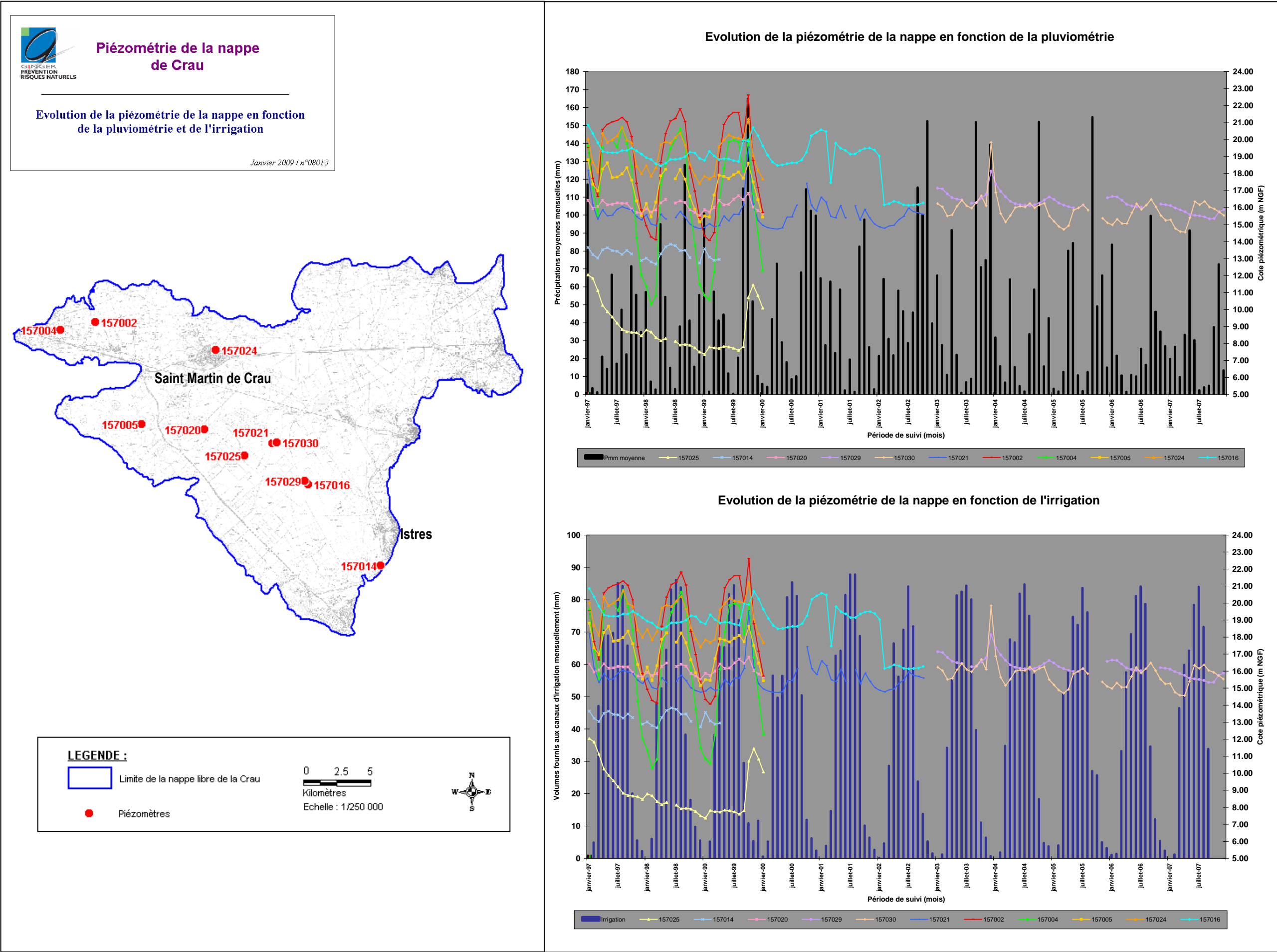
Dans le cas des points 157013, 157033, 157017, 157015 et 157022, il ne peut être mis en évidence :

- de cyclicité dans l'évolution de la piézométrie,
- de relation directe entre conditions climatiques et recharge de la nappe

Parmi les cinq ouvrages précités, l'un d'entre eux (le 157017) est caractérisé par un battement de nappe de très faible amplitude, phénomène pouvant notamment s'expliquer par l'existence à proximité d'importants pompages agricoles en nappe.

Concernant les quatre ouvrages, l'évolution des niveaux d'eau qui se fait en dents de scie reste difficile à justifier. A noter que les points indicés 157013 et 157033 sont localisés en amont immédiat de l'étang d'Entressen qui constitue l'une des principales zones de sortie de la nappe.





❖ **Partie O-SO du territoire de Crau (cf. figure page précédente)**

L'étude comparée de la piézométrie, de la pluviométrie et de l'irrigation sur cette partie de territoire amène aux observations du tableau ci-dessous.

Ouvrages	Type de variation	Remarques
157004, 157002, 157024, 157005	Points à forte influence d'apports d'eau d'irrigation : cyclicité Effet conjoint de la pluviométrie : pics composites	Fort à très fort battement de la nappe Période de « hautes eaux » en août
157021, 157030, 157014	Points en zone intermédiaire (entre zones d'irrigation et hors zones d'irrigation)	Retard dans l'enregistrement des maxima piézométriques : d'octobre à novembre
157025	Point sous forte influence des pompages	Diminution marquée du niveau d'eau
157020, 157029	Points à forte influence d'apports d'eau d'irrigation + prélèvements par pompage	Amplitude des variations de niveau piézométrique réduite

7.2.3 Secteur aval hydraulique

Les ouvrages représentatifs de la zone d'aval hydraulique de la nappe de la Crau laissent apparaître deux cas de figures comme illustré par les diagrammes de la page suivante.

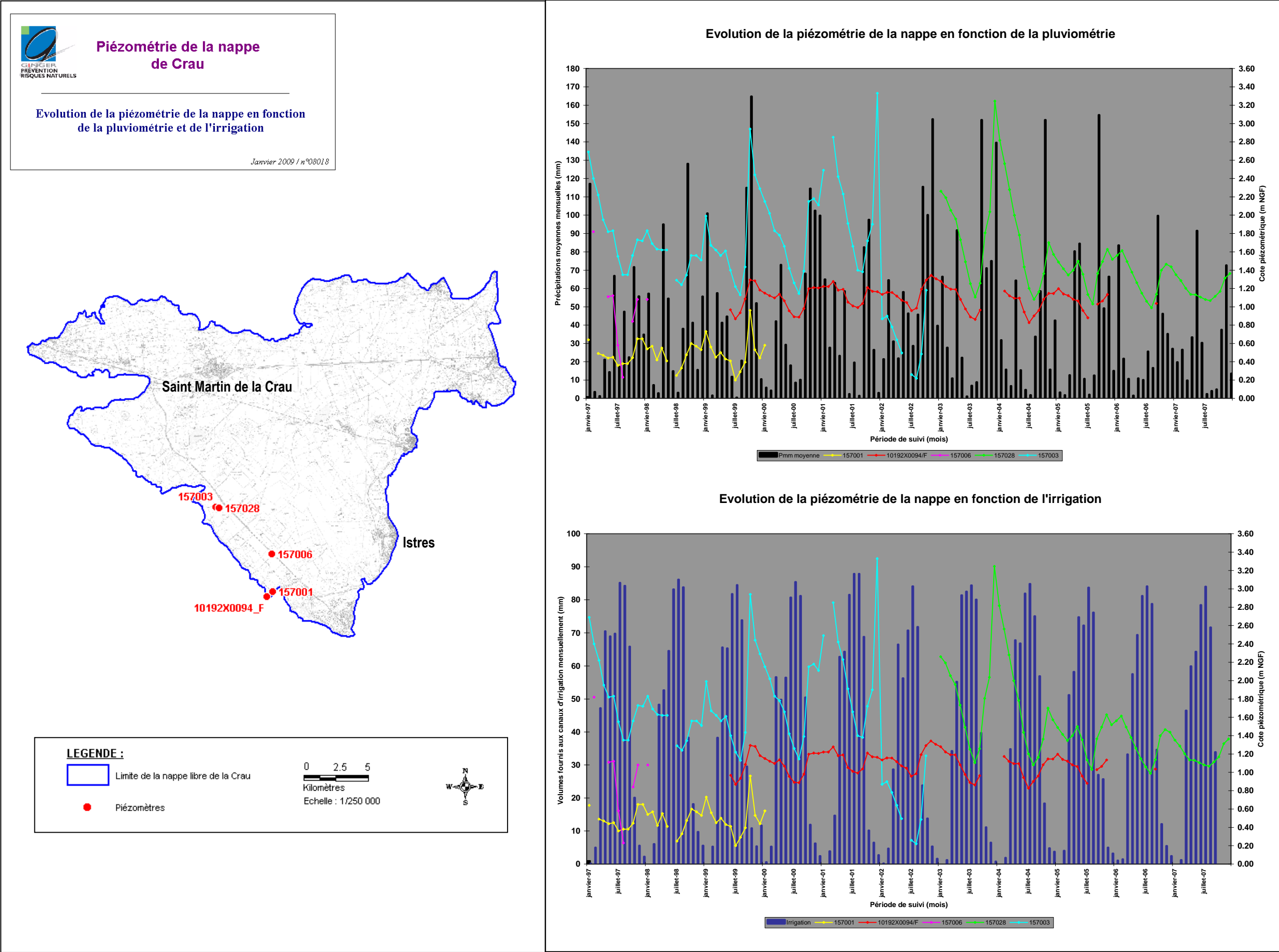
Dans le cas des ouvrages 157003 et 157028, les chroniques piézométriques de ces derniers rendent compte :

- d'une certaine cyclicité à rattacher aux pratiques d'irrigation
- d'une influence supposée des prélèvements par pompage
- d'une valeur d'amplitude des niveaux d'eau non négligeable (jusqu'à 3 m).

La pluviométrie, quant à elle, semble jouer un faible rôle sur la recharge de la nappe au vu des oscillations des courbes piézométriques.

Concernant les points localisés à proximité du captage AEP de la Pissarotte – 10192X0094/F et 157001 – les diagrammes rendent compte de l'existence de cycles démontrant l'influence des apports d'irrigations sur la recharge de la nappe. Par ailleurs, l'effet des pompages se fait sentir au niveau du point 157001 lequel est localisé dans le rayon d'influence du champ captant de la Pissarotte.

De manière générale, les hauteurs piézométriques maximales sont enregistrées vers novembre, voire un peu plus tard dans l'année, soit avec un retard de 2 à 3 mois par rapport au secteur amont hydraulique de la nappe.

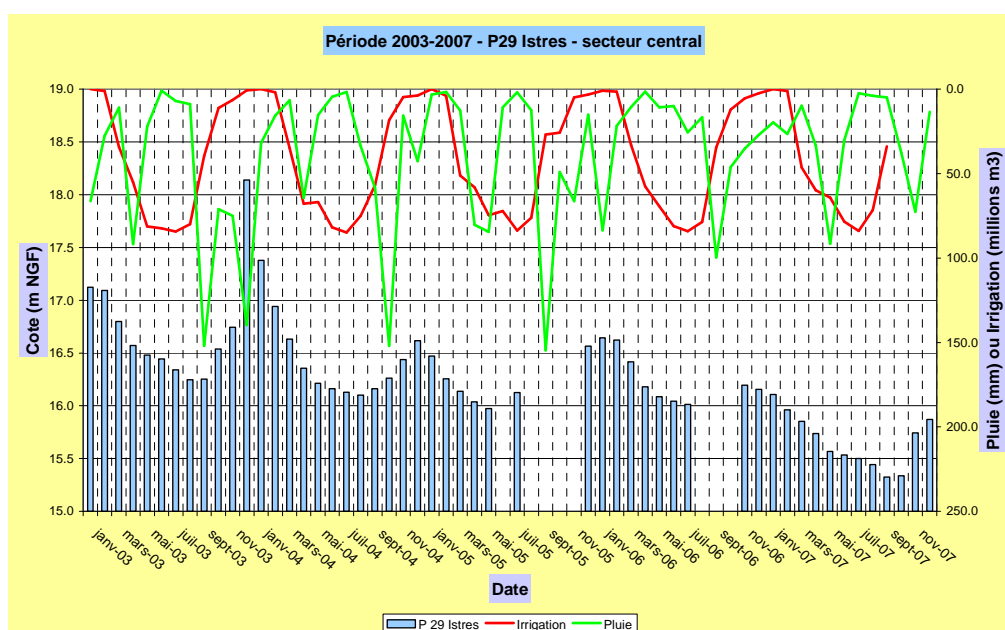
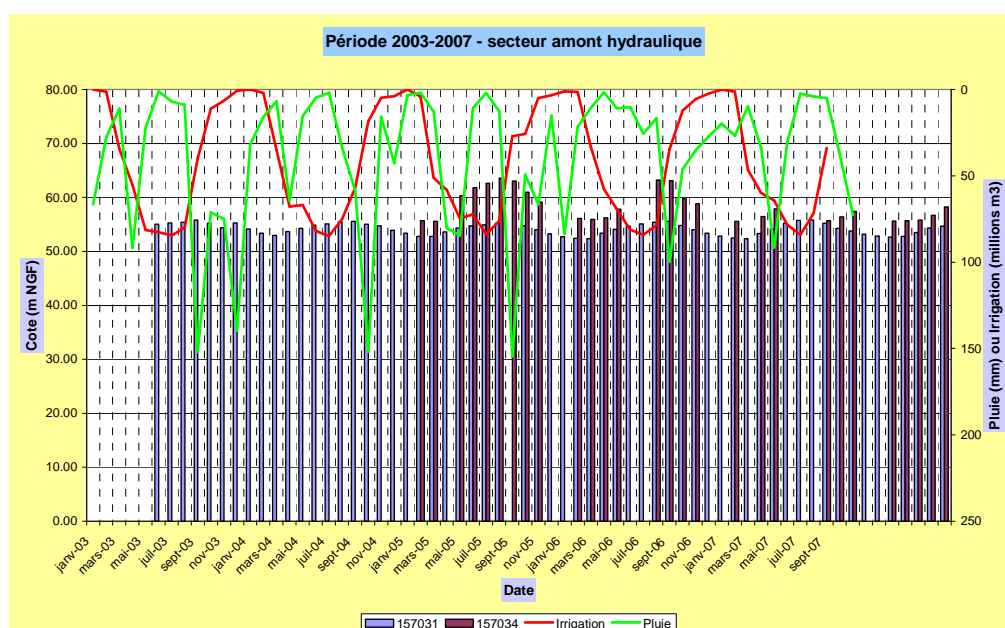


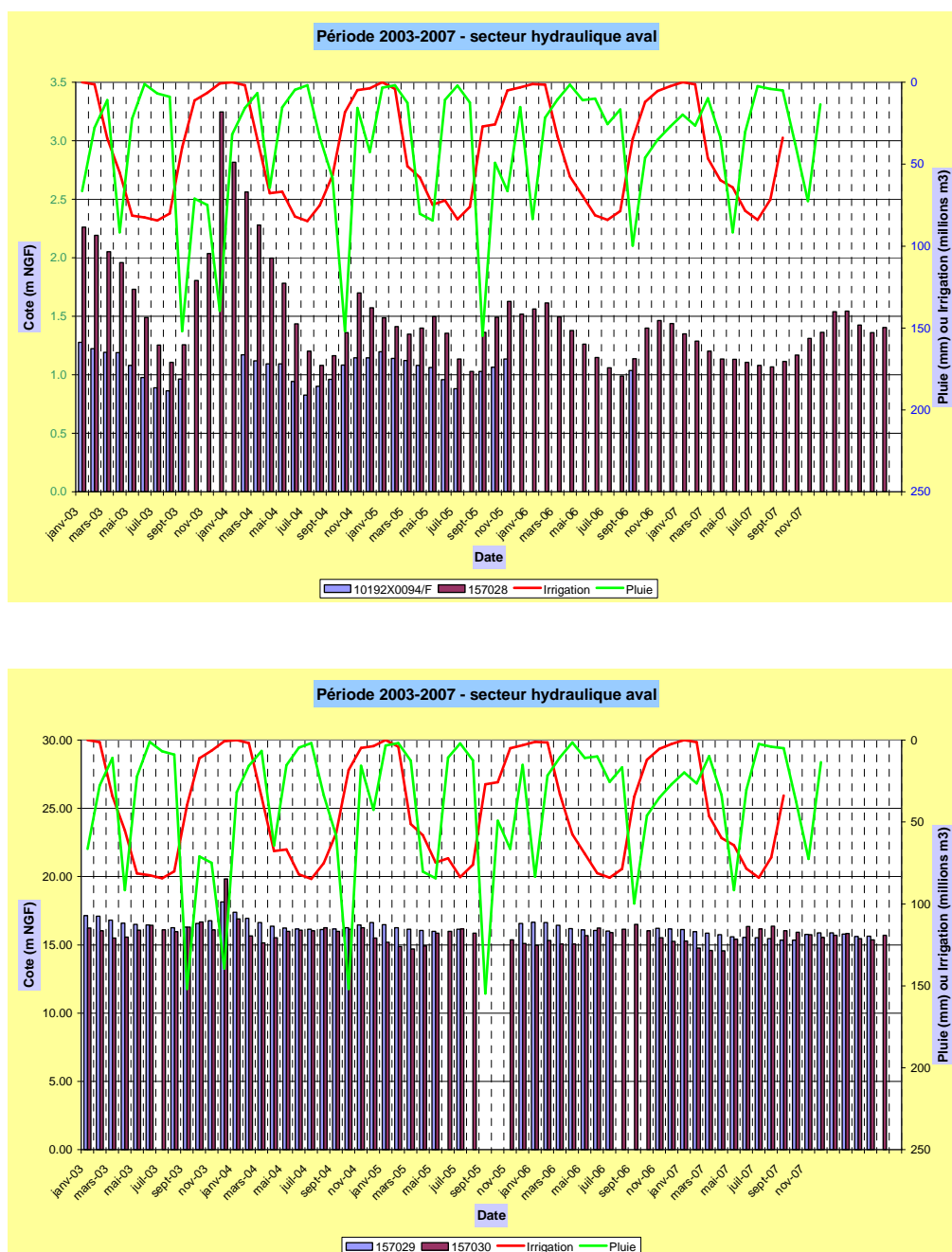
7.3 Période 2003-2007

La période 2003-2007 est caractérisée par un cycle hydrologique particulièrement sec en Provence. Plusieurs secteurs hors de la nappe de la Crau ont connus des niveaux de nappe exceptionnellement bas. Il s'agit donc d'observer sur cette période, le comportement des niveaux piézométriques, afin de donner un avis sur la vulnérabilité de la nappe de la Crau aux périodes de déficit prolongées.

En outre, lors du mois d'août 2007, un arrêt des irrigations a été nécessaire. Il s'agit également d'observer l'influence de cet évènement.

Pour ce faire, une comparaison des niveaux piézométriques avec les cumuls pluviométriques mensuels et les volumes irrigués est proposée sur certains postes.





Hormis le point P29 localisé à proximité d'Istres, aucune baisse significative n'apparaît sur les différents secteurs analysés. Ce point est connu comme étant localisé hors des zones d'irrigation, et donc considéré comme hors de l'influence des irrigations. Vu les apports importants représentés par les irrigations, les niveaux de la nappe P29 sont nécessairement conditionnés par ces derniers. On retrouve d'ailleurs une cyclicité dans l'évolution des niveaux qui semble corrélée avec les volumes irrigués. Une baisse moyenne légèrement supérieure au mètre est à signaler au niveau de P29 entre l'année 2003 et l'année 2007.

Toutefois, les apports hors de la pluviométrie, semblent assurer à la nappe de la Crau, une sécurité vis-à-vis des déficits hydriques prolongés. Les niveaux minimum atteints en 2007 au niveau de P29, par ailleurs, ne constituent pas des niveaux exceptionnels, après analyse des enregistrements antérieurs à ce poste (cf. chapitre sur les enregistrements piézométriques au P29 depuis les années 55).

8 CARTE HYDROGEOLOGIQUE BRGM ISTRES / EYGUIERES (OCTOBRE 1967)

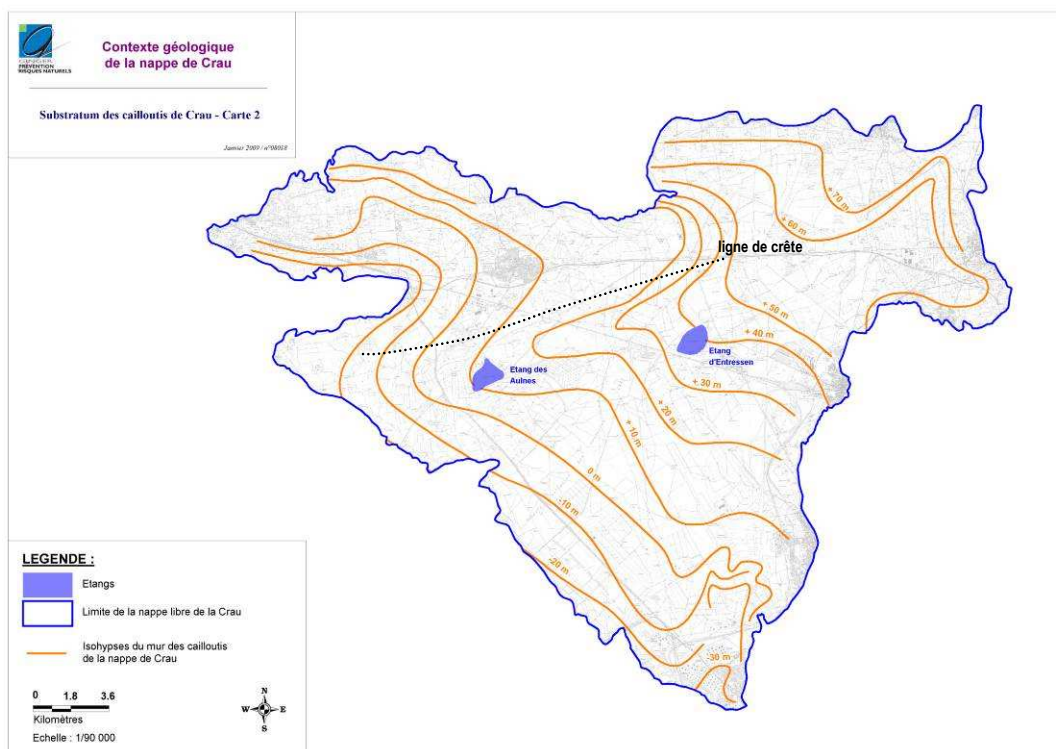
Afin de rendre compte des particularismes de la nappe de la Crau en termes de fonctionnement hydrodynamique, et plus particulièrement de comportement piézométrique, choix a été fait de prendre pour référence la carte hydrogéologique Istres / Eyguières établie par le BRGM à partir de relevés d'octobre 1967.

La surface hydrostatique de la nappe cartographiée et présentée en page suivante résulte d'un levé piézométrique synchrone exécuté au cours de la première semaine d'octobre 1967 à partir de plus de 200 points de mesure. Ces relevés qui présentent de nombreux traits communs avec ceux obtenus lors de campagnes précédentes permettent de définir les composantes principales de l'écoulement souterrain.

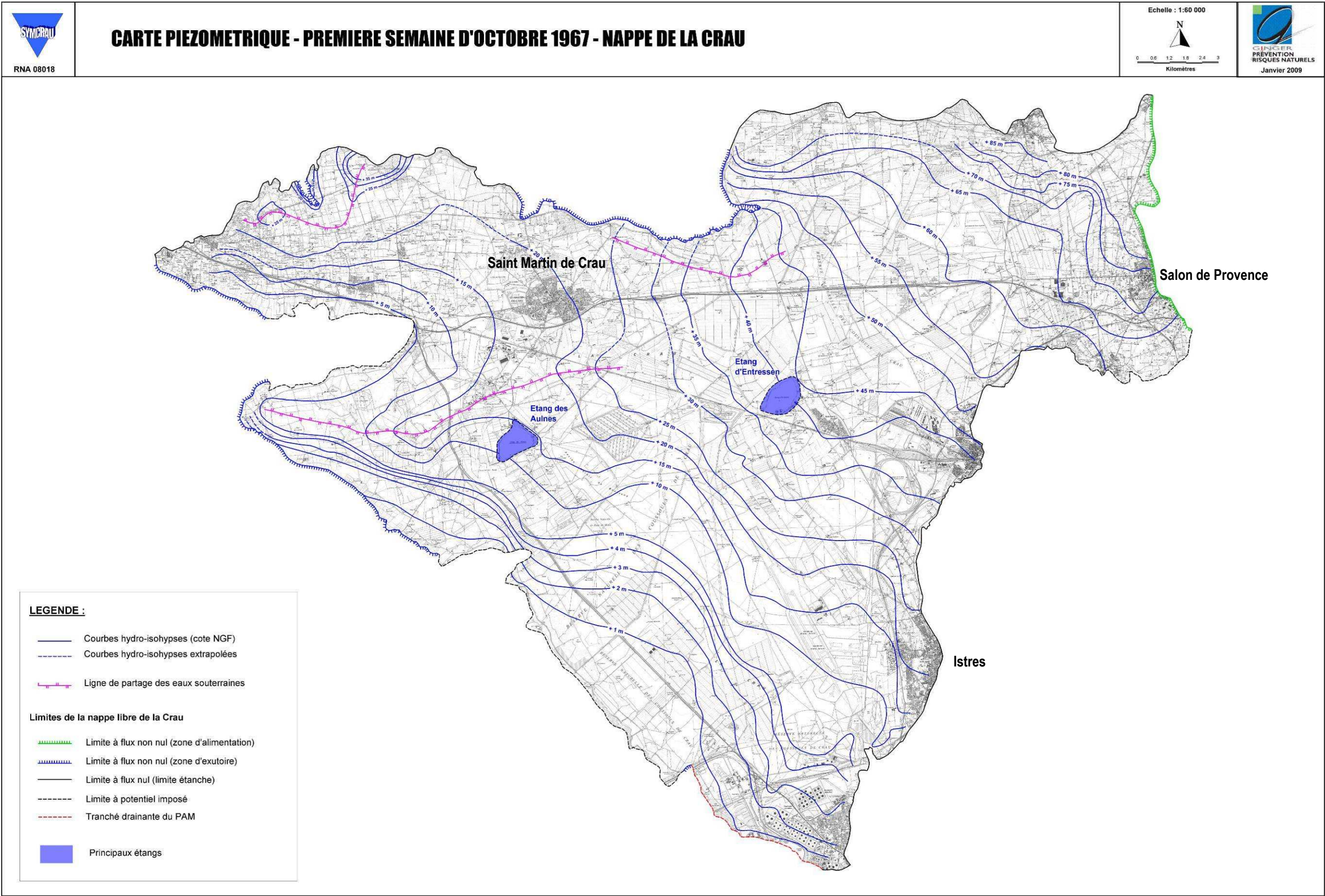
La carte élaborée par ANTEA en 2000 (cf. pages suivantes), bien que moins précise, a également été jointe au présent rapport pour comparaison.

La surface piézométrique de la nappe, telle que déterminée à partir des relevés d'octobre 1967, rend compte :

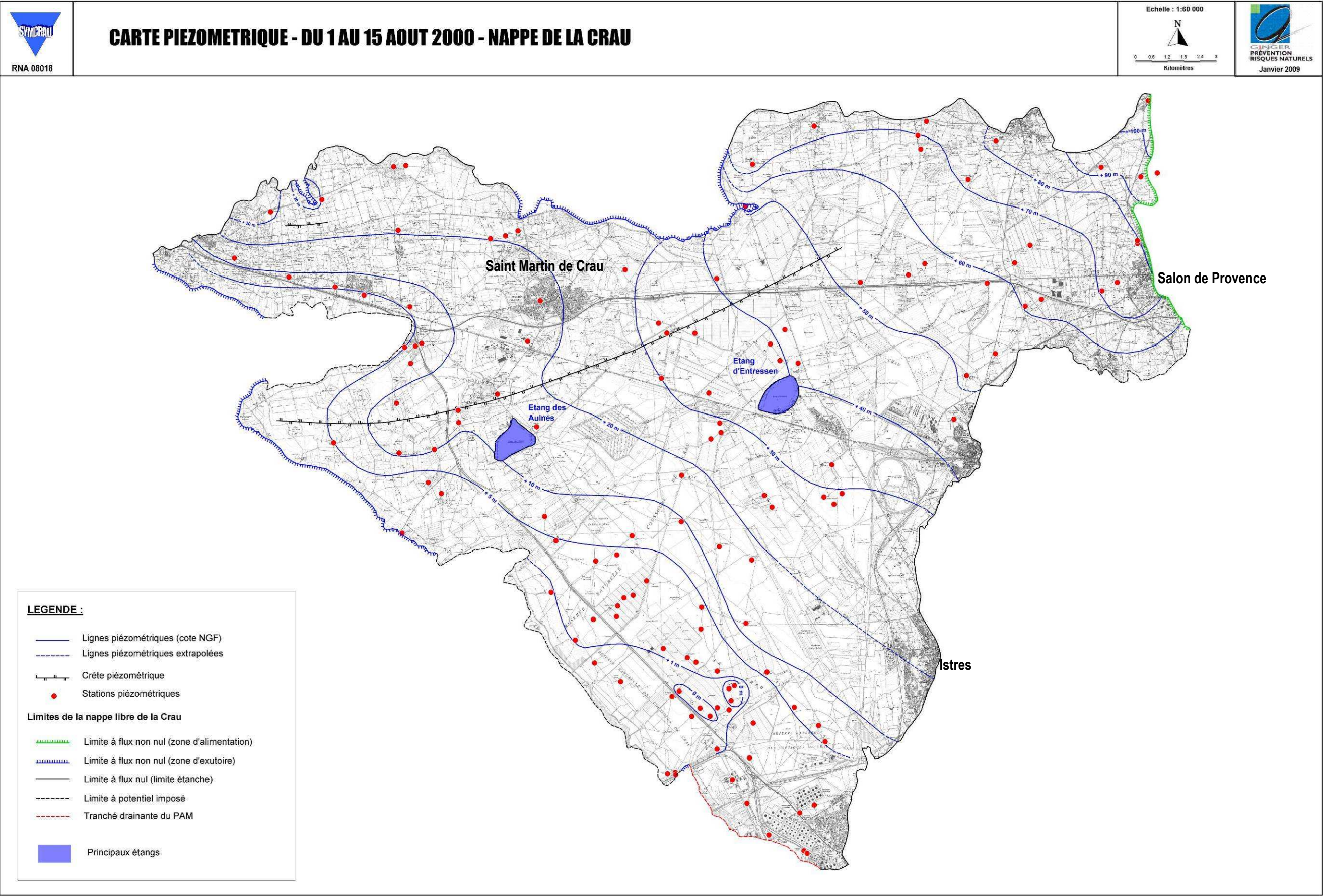
- d'une alimentation de la nappe en limite NE (région du seuil de Lamanon) et de sa décharge vers la zone des marais bordant le delta du Rhône au Sud-Ouest.
- de l'existence de trois lignes de partage des eaux souterraines dont la principale, située au Nord de l'étang des Aulnes et de direction ONO-ESE, sépare deux sous-bassins (occidental ou « la Crau d'Arles », oriental ou « la Crau de Miramas ») drainés par des chenaux à fortes transmissivités. A noter par ailleurs la relative correspondance entre ces lignes de partage et les lignes de crête topographique du substratum (cf. carte ci-dessous) ainsi que leur caractère faiblement diffusif (relative stabilité dans le temps).



Carte du substratum des cailloutis de Crau – Périomètre de la nappe libre (Source : BRGM, 1967)



Carte piézométrique de la nappe de la Crau – Octobre 1967 (Source : BRGM)



Carte piézométrique de la nappe de la Crau – Août 2000 (Source : ANTEA)

- d'une direction de transit général des eaux NE-SO ainsi que de la distinction, de manière plus précise, de deux écoulements nommés respectivement « courant Villafranchien d'Arles St-Hippolyte » et « courant de Miramas » (écoulements en lien avec les lignes de partage des eaux).
- de la présence de trois principales zones de drainage des eaux souterraines correspondant à d'anciens paléo-chenaux (ou paléo-vallées) :
 - o en tête de la Haute Crau, dans la zone sommitale du « couloir de Miramas »,
 - o en partie centrale du territoire de Crau (« couloir central »),
 - o en partie Ouest, au niveau de la « gouttière » de Saint-Hippolyte.
- d'un gradient hydraulique moyen de l'ordre de 3‰.
- d'un régime de fluctuation de la nappe très variable dans l'espace (importante amplitude des niveaux piézométriques à l'échelle du territoire craven : cote comprise entre +1 et +85 m NGF) mais, a contrario, limité dans le temps (battement de la nappe sous influence forte des périodes d'irrigation de l'ordre de 1 à 4 m).
- d'une profondeur moyenne de la surface hydrostatique de la nappe par rapport au sol de 0.3 à 7.0 m.

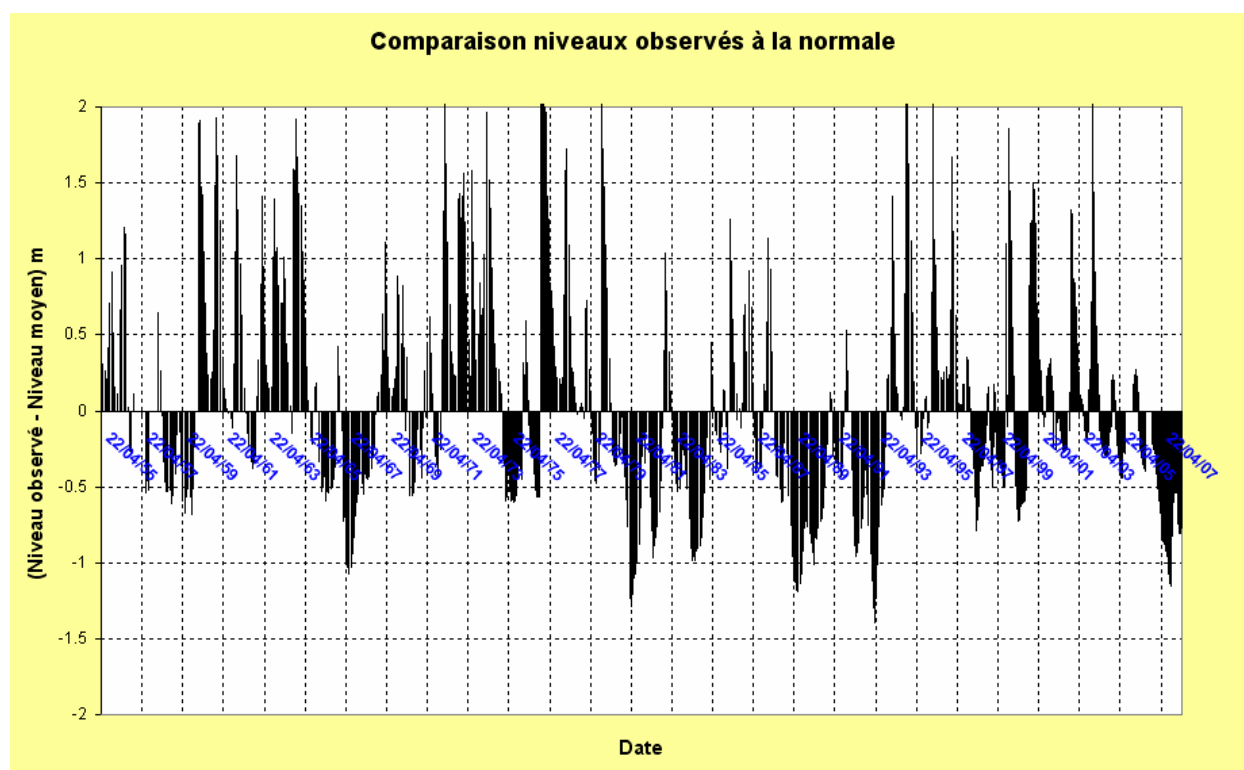
L'étude comparée des cartes établies par le BRGM (octobre 1967) et ANTEA (août 2000) ainsi que des chroniques piézométriques reconstituées sur la période 1997-2007, témoigne par ailleurs d'une relative constance de la surface hydrostatique de la nappe ces quarante dernières années. Ce dernier constat, confronté à l'analyse de l'évolution des prélèvements en nappe, tend à démontrer l'impact réduit des pompages sur cette ressource en eaux souterraines. Valable à l'échelon de l'ensemble du territoire craven, un tel constat nécessiterait la réalisation de suivis piézométriques complémentaires pour rendre compte de spécificités locales.

9 CONCLUSION

L'ensemble des points abordés dans les paragraphes précédents conduisent à plusieurs observations en termes de suivi piézométrique et de fonctionnement hydrodynamique de la nappe de la Crau :

❖ Suivi piézométrique :

- la densité des ouvrages utilisés comme piézomètres, pour la période 1997-2007, ne suffit pas à l'établissement de cartes hydrogéologiques à l'échelle de la nappe de la Crau. De même, elle n'autorise pas la mise en évidence de l'impact potentiel des pressions anthropiques, ces dix dernières années, sur la surface hydrostatique de la nappe.
- les chroniques piézométriques disponibles, de durée inférieure à 10 ans, ne permettent pas d'en tirer de véritables tendances évolutives.
- Des données depuis 1955 ont pu être récupérées sur le piézomètre P29 d'Istres. Au niveau de ce piézomètre, on ne constate pas d'évolutions majeures des niveaux piézométriques. Une certaine cyclicité ou alternance entre période de baisse et d'augmentation des niveaux apparaît (se reporter au graphique ci-dessous qui présente une comparaison entre les niveaux observés et la moyenne des niveaux observés).



Les niveaux les plus bas ont ainsi été observés :

- 24/06/1967 – 15.33 m NGF,
- 23/04/1987 – 15.11 m NGF,
- 08/04/1993 – 15.01 m NGF,
- 15/10/2007 – 15.25 m NGF.

On se gardera toutefois d'extrapoler cette observation à l'ensemble de la nappe de la Crau.

❖ Fonctionnement hydrodynamique :

- la comparaison de la carte hydrogéologique de 1967 avec les chroniques d'ouvrages ponctuels tend à démontrer une relative stabilité des niveaux d'eau depuis les années 60's. Cette tendance générale, pour être vérifiée localement, nécessiterait toutefois l'établissement d'une nouvelle carte piézométrique à partir d'une campagne de mesures synchronisées et à grande échelle (nombre de points de mesure au moins égal à 250).
- l'évolution des niveaux d'eau de la nappe, en fonction des secteurs considérés, semble démontrer une influence plus ou moins marquée des apports via l'irrigation et/ou la pluviométrie ainsi que des sorties par prélèvements. Bien qu'il soit difficile de sectoriser, de façon précise, des parties de territoire selon un type de fonctionnement, il est toutefois intéressant de noter que les ouvrages de contrôle :
 - de l'amont hydraulique et du Nord-Ouest, sont fortement dépendants des apports par irrigation (cyclicité des variations piézométriques en fonction des périodes d'irrigation)
 - de la partie centrale et de l'aval hydraulique, ont des comportements mixtes significatifs, notamment, d'influences concomitantes de l'irrigation et des pompages.

Enfin et de manière générale, les conditions climatiques semblent faiblement régir l'évolution de la piézométrie des différents points pris en référence.

- au vu des chroniques piézométriques disponibles, l'influence des apports d'irrigation sur le comportement piézométrique des ouvrages semble accuser un retard de l'ordre de 2 à 3 mois entre l'amont hydraulique irrigué et l'aval hydraulique hors zones d'irrigation.

III. ANALYSE DES DIFFERENTES SOURCES

D'ALIMENTATION DE LA NAPPE

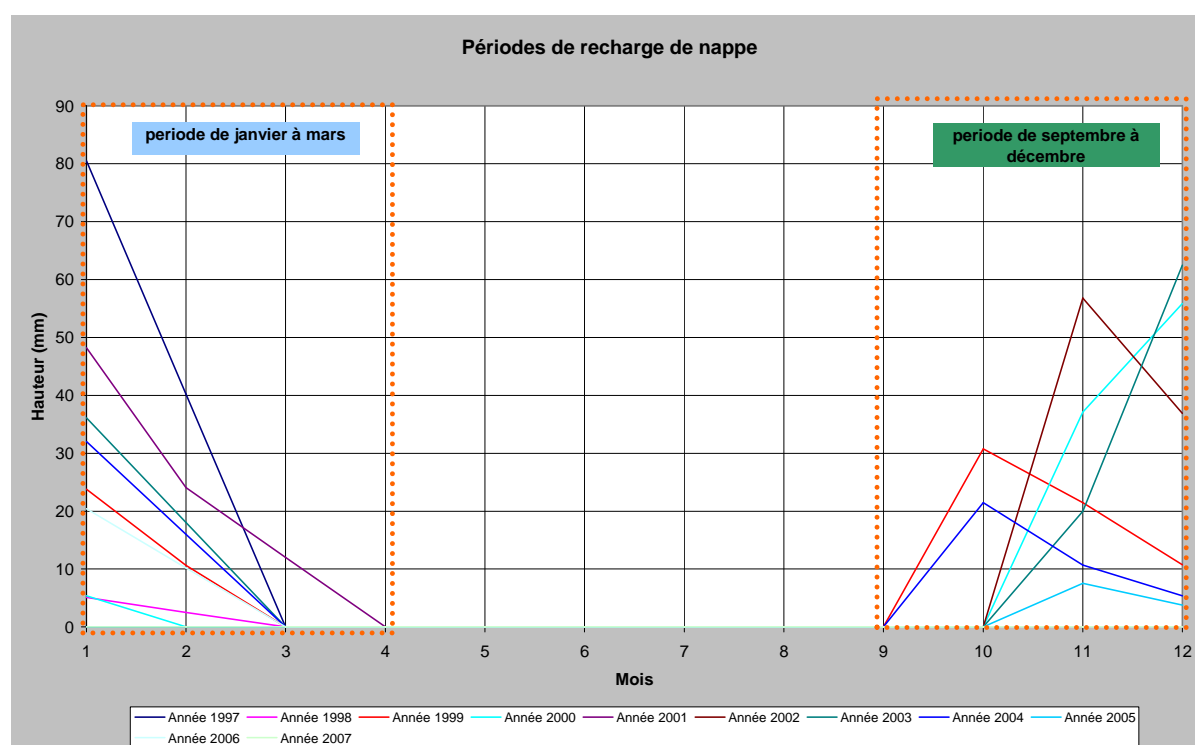
10 APPORTS PAR LA PLUVIOMETRIE

L'objectif des présents travaux est d'apprécier les volumes pluviométriques retournant à la nappe de la Crau. En effet, seule une partie des eaux précipitées sont susceptibles de s'infiltrer, le reste s'évaporant ou ruisselant. Afin d'analyser les précipitations capables de s'infiltrer on cherche donc à évaluer la pluie efficace, différence entre les précipitations réelles et l'évapotranspiration réelle.

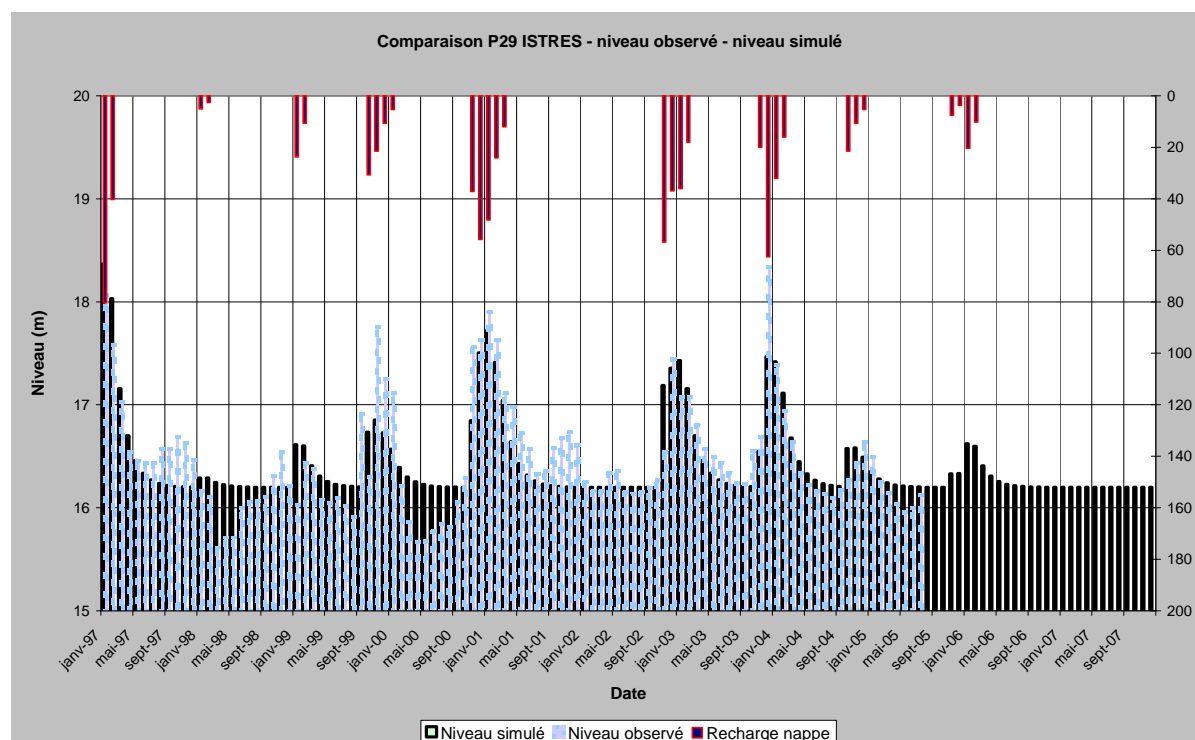
Le cadre méthodologique des travaux réalisés est présenté en annexe 2 avec précision des hypothèses posées et des données exploitées.

Principaux résultats :

La recharge de la nappe se déroule préférentiellement sur la période automnale et hivernale : septembre à mars.



Les niveaux simulés reprennent assez bien l'allure générale des niveaux observés. Les principaux écarts sont constatés au niveau des périodes de récession. Les pics très localisés sont également parfois mal représentés. Le coefficient de Nash (critère couramment retenu pour apprécier la qualité des modèles physiques mis en place) pour les séries observées est de l'ordre de 65 %. On considèrera donc que la représentation proposée par le modèle GARDENIA est de qualité moyenne.



Comparaison séries simulées – séries observées / GARDENIA sur la période 1997 - 2007

Seule l'année 2007, semble marquée par une recharge nulle de la nappe par les apports pluviométriques. Les années 2005 et 2006 ont également été marquées par des moyennes annuelles inférieures à la normale.

Recharge de la nappe (mm)													
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année	Moyenne
80.5	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1997	120.7
5.1	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1998	7.6
23.8	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.7	21.5	10.7	1999	97.4
5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	55.9	2000	98.3
48.2	24.1	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2001	84.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.8	36.9	2002	93.7
36.1	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	62.5	2003	136.6
32.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	10.7	5.4	2004	85.6
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	3.8	2005	11.3
20.4	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2006	30.6
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2007	0.0

Evaluation de la recharge de la nappe (mm)

Sur la période 1997-2007, considérant que l'ensemble de la surface de la nappe à savoir 550 km², participe à la recharge de la nappe, un volume annuel moyen de l'ordre de 38 millions m³ représenterait les apports liés à la pluviométrie. Ces propos doivent être nuancés eu égard aux années 2005, 2006 et 2007 en déficit hydrique (peu de pluie efficace). En effet, si on exclut les volumes correspondant à ces années exceptionnelles, on retrouve un volume annuel moyen de l'ordre de 50 millions m³.

11 APPORTS PAR LE RESEAU D'IRRIGATION

11.1 Problématique de l'irrigation en Crau

Bien que l'irrigation gravitaire ait conduit à une modification importante des schémas hydrologiques locaux (salinisation, zones de marais, recharge de nappe, réseaux hydrauliques, inondations, ...), cette pratique agricole demeure la plus répandue dans le monde (80% des surfaces irriguées le sont par gravité).

Comme indiqué par Anne MEROT dans sa thèse soutenue en 2007⁷, « *la plaine de la Crau (...) est un parfait exemple de remise en cause des schémas traditionnels d'irrigation dans le cadre d'une agriculture multifonctionnelle* ».

La Crau qui a connu l'arrivée des systèmes d'irrigation dans les années 1554⁸, voit s'appliquer les mêmes schémas d'irrigation depuis plus de 4 siècles.

L'eau d'irrigation de la Crau issue du barrage de Serre Ponçon situé sur la rivière de la Durance, est alimentée par la fonte des neiges des sommets alpins. L'eau de retenue de ce barrage, « zone cruciale de partage des eaux », est utilisée pour :

- la production d'électricité par EDF,
- le tourisme (base de loisirs),
- l'irrigation des terres agricoles en aval,
- le maintien du débit minimal de la Durance.

Des prises d'eau pour l'irrigation se situent tout au long du canal EDF ; celles permettant d'alimenter l'ensemble de la plaine de Crau fournissent un débit nominal de 31.5 m³/s.

En termes d'organisation spatiale :

- les prairies multi-spécifiques de Crau couvrent à elles-seules plus de la moitié des surfaces agricoles (Comité de Crau, 2003 ; 2004), soit environ 12 500 ha ;
- 400 km de canaux principaux et secondaires gérés par des associations syndicales d'irrigants et 1 600 km de filioles⁹ privées assurent l'acheminement de l'eau jusqu'aux parcelles (Comité de Crau ; 2004). Le linéaire de fossés et de filioles de desserte est de l'ordre de 100 m linéaire pour un hectare irrigué (Source : Comité du foin de Crau).

Jusque dans les années 1960, les usages agricoles étaient tels que seule la technique d'irrigation gravitaire était pratiquée. Depuis, d'autres méthodes se sont développées bien que leur recours reste limité en Crau :

- l'irrigation par aspersion,
- l'irrigation localisée ou le goutte à goutte.

Les consommations en eau par hectare correspondantes étaient estimées en 2006 de l'ordre de :

- 15 000 à 20 000 m³/an pour l'irrigation gravitaire
- 3 000 à 5 000 m³/an pour l'irrigation par aspersion,
- 2 000 à 3 000 m³/an pour le goutte à goutte.

⁷ Anne MEROT, « Analyse et modélisation du fonctionnement biophysique et décisionnel d'un système prairial irrigué. Application aux prairies plurispécifiques de la Crau en vue de l'élaboration d'un Outil d'Aide à la Décision », Thèse Sup Agro Montpellier – septembre 2007, 200 p.

⁸ Ces changements opérés sont à l'origine de la création de la Crau humide, 2^{ème} écosystème aujourd'hui classé Natura 2000

⁹ Petits canaux en terre permettant de conduire l'eau des canaux principaux collectifs directement aux parcelles

A noter que les différences observées sont notamment liées aux caractéristiques physiques et pédologiques des parcelles (pentes, natures des sols, ...).

Au-delà de ces données brutes, il est intéressant d'observer qu'une grande partie de l'eau consommée par irrigation gravitaire n'est toutefois pas utilisée par les plantes mais restituée au milieu ce qui permet d'assurer l'essentiel de la recharge de la nappe de la Crau (à hauteur de 60-70% selon les auteurs).

11.2 Volumes d'entrée

Les chroniques mensuelles des volumes fournis aux principales branches du réseau d'irrigation de Crau nous ont été fournies par M. BAUDEQUIN de la CED. Les données brutes sont jointes au rapport en annexe 3.

❖ Données d'entrée (Source : CED)

Les bilans disponibles pour la période 1997-2007 sont issus de deux sources de données : EDF et CED.

En effet, ces bilans CED ont été établis, jusqu'aux années 2000, à partir des seuls enregistrements de suivi effectués par EDF à une périodicité de l'ordre de 1 à 2 fois par semaine.

Depuis les années 2000, la CED réalise, en période de vigilance renforcée, des relevés hebdomadaires des débits de canaux.

Bien que la CED se soit appliquée à rassembler, pour 2001-2007, les relevés de prélèvement fournis par les canaux dans le but :

- de les comparer aux chroniques de suivi EDF,
- d'identifier et de réduire, autant que possible, les écarts de données,

des différences demeurent.

De même, les relevés sont parfois lacunaires (ex : rien sur les Alpines de Salon).

Les données d'entrée, dans le cas des canaux de Crau, ne correspondent pas aux prélèvements nets (déduction de la somme des débits rejetés dans les collatures) **mais aux volumes totaux fournis au réseau d'irrigation** (cf. encadré ci-dessous).

Calcul des volumes prélevés :

« Les volumes prélevés sur la Durance sont en pratique calculés par un algorithme qui retranscrit les dispositions de la loi de 1955. Ce calcul est indépendant des mesures de prélèvements individuels des canaux ; il établit un bilan global pour la Basse Durance (en liaison avec la gestion de la réserve agricole de Serre Ponçon) à partir des apports et des turbinages (calcul du débit naturel reconstitué de la Durance) ainsi que des entrées / sorties pour l'ensemble de la « boîte » Basse Durance entre Cadarache, Salon et Avignon ».

Un travail de réduction des écarts enregistrés entre les données issues d'EDF et de la CED a été mené pour affiner les procédures de lissage des éclusées EDF inscrites dans l'algorithme.

« Enfin, les retours des colatures des canaux d'irrigation gravitaire peuvent être réutilisées par la CED pour les prises aval en Durance. Par conséquent, l'algorithme fournit des prélèvements nets qui, par construction, sont inférieurs à la somme des débits mis à disposition en tête de prises.

Dans le cas de la Crau, aucun retour n'est effectué en Durance (...). Pour ces raisons, la CED n'a pas mis en place de dispositif permanent de centralisation des mesures de prélèvement (...) ».

La ventilation entre les prises relevant de l'OGA et celles de l'OGC est régie par ces deux organismes ; l'Union de Boisgelin-Craponne, en charge de faire respecter les dotations, ne dispose pas pour sa part de données d'archives exhaustives sur 1997-2007.

❖ Critique des données d'entrée (Source : CED)

- La CED se référait aux prises physiques EDF jusqu'à une période récente. Depuis 2006, elle s'est appliquée à fournir des bilans par prise historique sur la Durance et s'est ainsi intéressée de plus près aux prises divisionnaires de l'OGA et de l'OGC.
- En raison de lacunes certains mois, les relevés effectués au niveau des canaux peuvent être significativement inférieurs aux suivis EDF (pas de données pour le canal des Alpines –Salon).
- Les suivis EDF ne tiennent pas compte des réglages effectués au-dessous du pas de temps hebdomadaire.
- La série disponible la plus longue est celle d'EDF.
- Le canal Boissgelin-Craponne est normalement conçu pour fonctionner en régulation par l'aval ; dans ce cas particulier, le débit réel peut être inférieur au débit observé aux modules de Lamanon (suivi EDF). La régulation était toutefois hors service pour la période 1997-2007.
- Compte tenu du mode d'irrigation du foin, culture dominante, et du tour d'eau, les pourcentages de prélèvement devraient rester assez stables dans la période d'étude et être ainsi extrapolés à partir des chiffres de 2006 et 2007 (sous réserve d'une absence de modification notable du réseau de canaux). L'extrapolation des données 2006 et 2007 aux années antérieures pose néanmoins la question de la représentativité de ces données : restrictions édictées par la CED pouvant introduire un biais pour les années « normales » (1997, 1999, 2000, 2001 et 2002).

Au vu de ces différents commentaires, il n'est pas apparu judicieux d'étudier l'évolution des volumes entrés au niveau des principales branches du réseau d'irrigation de Crau entre 1997-2007, au risque le cas contraire, d'introduire d'importantes déviations du fait des extrapolations.

Les diagrammes établis à partir des bilans CED 2006 et 2007 ont toutefois été pris en référence pour établir une comparaison entre les différents canaux principaux (cf. figures de la page suivante).

Ceux-ci amènent plusieurs commentaires :

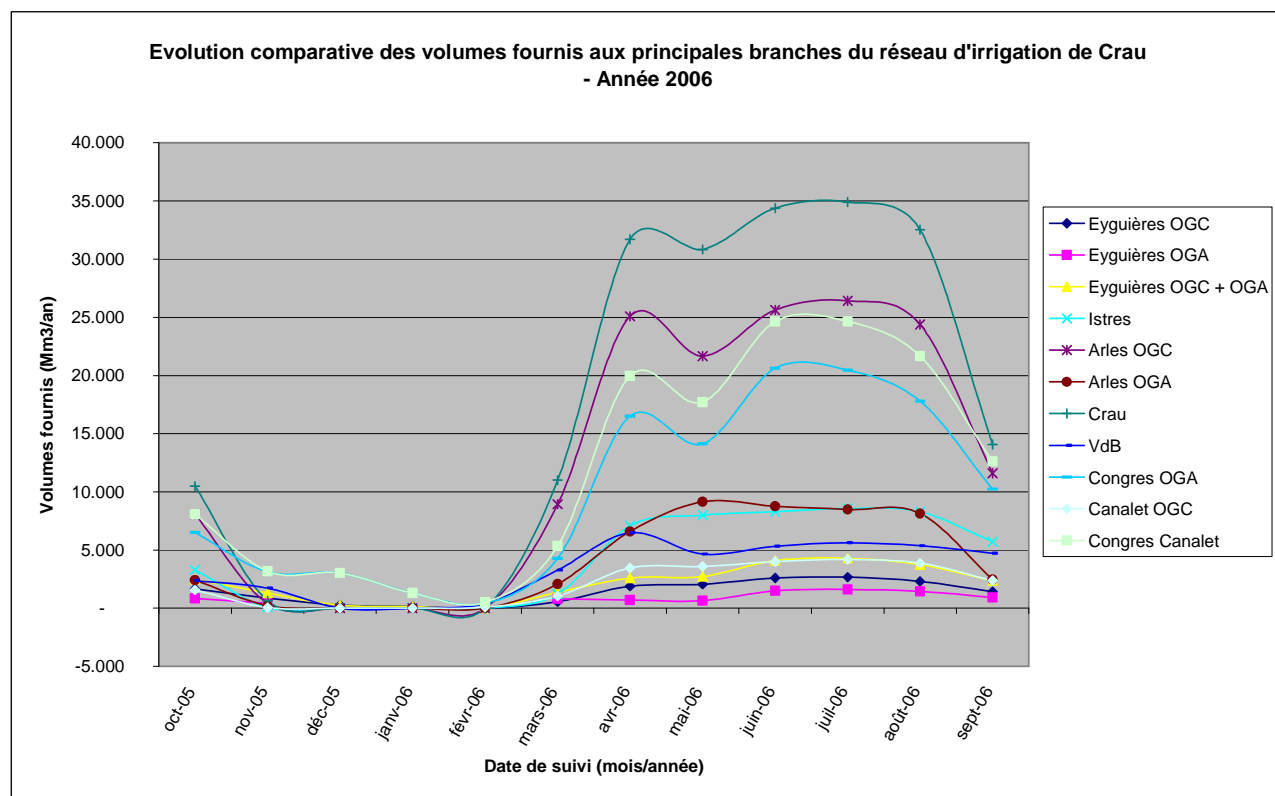
- chômage (ou presque) de l'ensemble des canaux durant la période hivernale (janvier-février),
- forte augmentation des volumes fournis entre mars et septembre soit durant la période d'arrosage des cultures de Crau (en particulier de foin)
- débits maximums enregistrés au niveau des branches Crau, Arles OGC, Congrès-Canalet et Congrès-OGA.

Les diagrammes montrent par ailleurs des variations, en dent de scie, des volumes d'eau entrés en période sèche. Ceci est la conséquence des restrictions d'usage instaurées par la CED durant les années 2006, 2007, années particulièrement sèches en Provence. A noter sur ce point que ces 2 années, marquées par une baisse notable des réserves en eau, font suite à une année 2005 de forte sécheresse.

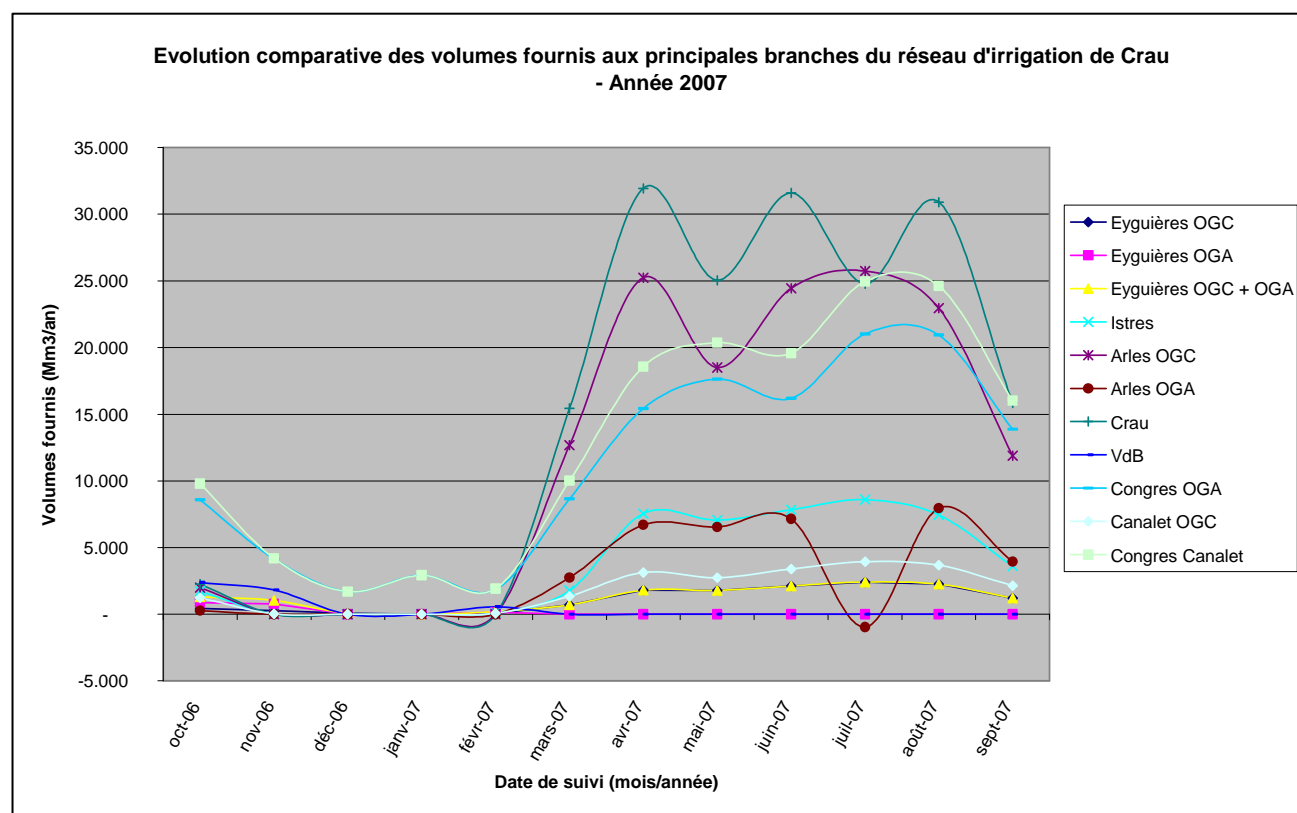
Remarque :

Les diagrammes présentés ne tiennent pas compte de la branche des Alpilles – Salon pour laquelle aucun relevé de débits n'existe pour 2006 et 2007.

De même, des lacunes de données ont pu être mises en évidence pour les branches Eyguières OGA, VdB, ..., ce qui fausse d'autant l'analyse de la forme des courbes entre elles.



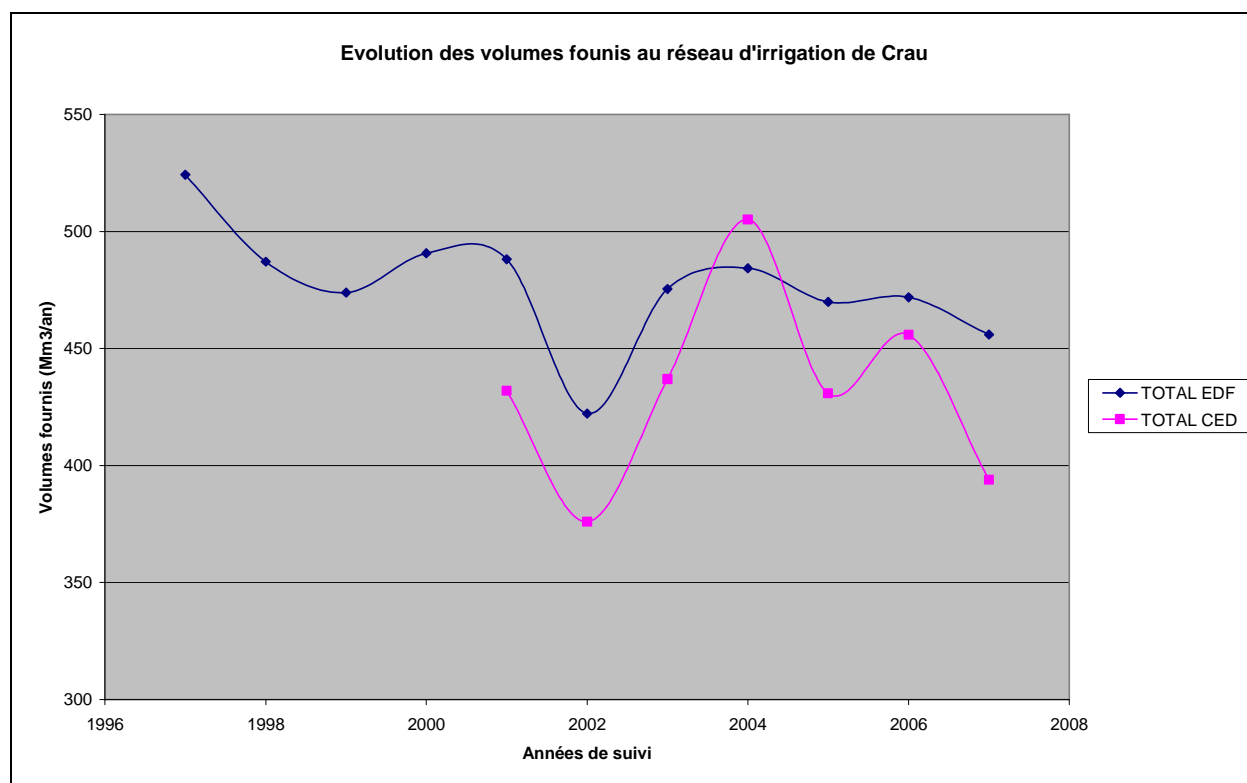
Volumes d'eau fournis aux branches du réseau d'irrigation – Année 2006 (Source des données d'entrée : CED)



Volumes d'eau fournis aux branches du réseau d'irrigation – Année 2007 (Source des données d'entrée : CED)

Concernant les bilans globaux annuels EDF et CED, il peut être observé une tendance évolutive à la baisse des volumes entrés (cf. figure ci-dessous), tendance d'autant plus marquée les années de dernières sécheresses (2005 et 2007).

Aucune indication ne nous a été fournie concernant la baisse drastique des volumes d'eau fournis au réseau d'irrigation en 2002, cette baisse n'étant pas liée, a priori, à un déficit hydrique important (à la différence de 2005 et 2007).



Tendance évolutive des volumes entrés (1997-2007) – Canaux d'irrigation de Crau (Source : CED)

Remarque :

Aux données transmises ont été retranchés les volumes d'eau prélevés par la commune de Martigues (branche du Congrès) pour la satisfaction de ses besoins en eau potable (volume moyen annuel : **3.815 Mm³**).

La ville de Martigues est en effet alimentée en eau brute par le réseau superficiel (canal d'irrigation). L'eau prélevée, une fois traitée au niveau de l'usine du Ranquet située à 10 km de Martigues, est ensuite acheminée sur Martigues par une canalisation d'environ 10 km de longueur.

Cette prise d'eau permet l'alimentation des communes de Martigues et de Saint-Mitre-les-Remparts, soit une population voisine de 50 000 habitants.

L'eau brute, issue de la Durance, est acheminée par les canaux onze mois sur douze. Pendant un mois chaque année, lors du chômage du canal pour les opérations d'entretien de l'ouvrage, deux forages situés dans l'enceinte de l'autodrome de Miramas sont mis en service et refoulent directement dans le canal.

Par souci de cohérence et du fait notamment des lacunes existant dans les relevés de la CED, choix a été fait de considérer dans les calculs les suivis EDF dans les estimations des apports d'eau à la nappe via les canaux d'irrigation.

11.3 Evaluation des apports à la nappe via l'irrigation

Selon les deux approches présentées en annexe 4, on obtient **un apport de l'irrigation compris entre 100 et 170 millions de m³ / an.**

Pour comparaison des ces ordres de grandeur, les chiffres avancés par le BRGM :

- modèle MARTCRAU : 3.7 m³/s, soit environ **116.68 Mm³/an**
- présentation de M. SOLAGES (colloque 2004 sur l'irrigation) : **117 Mm³/an.**

De cette analyse, il ressort l'importance de disposer de données d'entrée très précises, c'est-à-dire :

- de relevés mensuels effectués au niveau des prises d'eau principales et secondaires,
- de cartographie précise des surfaces irriguées (par le réseau des filioles, voire par les prises individuelles) avec distinction des types de culture et des modes d'irrigation mis en œuvre,
- des schémas d'arrosage retenus pour chaque type de culture (débit fourni aux parcelles, périodicité d'arrosage),
- de relevés mensuels des débits retournant au réseau (volumes d'eau non utilisés pour l'irrigation),
- de synoptiques précis du réseau d'irrigation ainsi que d'une cartographie à jour de ce même réseau.

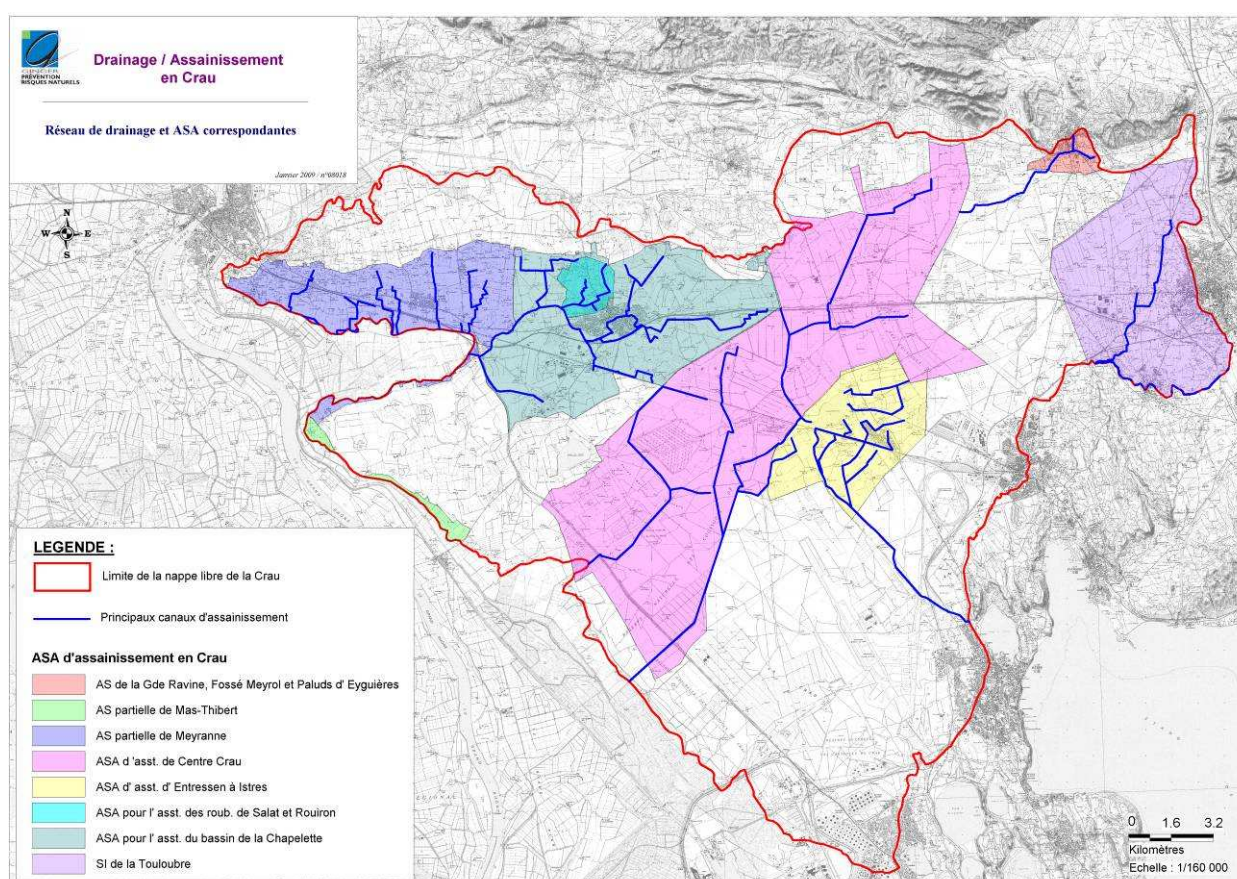
Une telle démarche d'amélioration d'acquisition de données, au-delà de l'intérêt qu'elle présente en termes de connaissance du réseau, permettrait de mieux apprécier d'une part le rôle des pratiques d'irrigation sur le maintien des débits de la nappe, d'autre part les possibilités offertes sur le plan de l'extension des périmètres d'irrigation (disponibilité en eau).

12 APPORTS PAR LE RESEAU DE DRAINAGE / ASSAINISSEMENT

Les différentes recherches bibliographiques menées ne permettent pas de proposer une synthèse exhaustive et détaillée des apports liés à la présence d'un réseau de drainage en territoire de Crau. Ce constat est lié à l'absence :

- d'une part, d'une base de données à jour et d'un descriptif du réseau en place
- d'autre part, de relevés de débit effectués sur le réseau lui-même.

De fait, il est impossible de proposer, en l'état, un bilan de l'existant (linéaire total des canaux et fossés d'assainissement, descriptif) et d'estimer le retour à la nappe par pertes et/ou fuites le long des drains. Selon les données SIG de la DDAF et de la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône, le linéaire total du réseau (principal et secondaire) est compris entre 165 (DDAF 13) et 460 km (CA 13). Cet ordre de grandeur semble, a priori, fortement sous-estimé au regard notamment des données fournies pour l'irrigation (canaux + filioles : 2 000 km environ).



Localisation du réseau primaire de drainage – Périmètres des ASA d'assainissement

Les canaux et fossés constitutifs du réseau, en principe en terre, participent à l'évacuation des eaux pluviales (raccordement des fossés) ainsi qu'aux excédants d'irrigation. Ces derniers peuvent, pour partie, alimenter la ripisylve du réseau de drainage ou servir à une irrigation réalisée à partir de pompes directes dans certains canaux d'assainissement.

A la différence du réseau d'irrigation qui est « en eau » au moins 11 mois de l'année, le réseau de drainage est en eau de manière plus variable dans le temps.

En termes d'apport à la nappe, aucune étude de caractérisation du réseau et de mesure des débits entre tronçon ne semble avoir été effectuée sur un quelconque secteur du territoire de Crau.

Sachant que :

- l'essentiel des drains sont en terre et souvent colmatés,
- les évacuations des eaux sont irrégulières (tant quantitativement que temporellement),
- les eaux évacuées sont souvent chargées de limons,

la part d'eau s'infiltrant jusqu'à la nappe, en période normale, paraît très faible en comparaison des volumes d'eau alimentant la ressource via les pratiques d'irrigation¹⁰.

En période de fortes pluies, cette part peut s'accroître plus ou moins considérablement en fonction de la capacité de chacun des canaux ou fossés et, par voie de conséquence, du potentiel débordement des ouvrages.

Ces différents commentaires rendent compte de la nécessité d'établir un état des lieux le plus précis possible du réseau d'assainissement en Crau avec, au minimum :

- une identification et un descriptif des réseaux principaux, secondaires et tertiaires
- une évaluation de leur état (neuf, moyen, mauvais, très mauvais) couplée à une identification des zones de fuites ou de pertes
- une campagne de relevés hebdomadaires (ou mensuels) des volumes d'eau évacués.

¹⁰ Le BRGM, dans la notice de la carte hydrogéologique d'Istres-Eyguières avance comme estimatif du débit de sortie (réseau de drainage + collatures) le chiffre de 13.5 m³/s soit plus 425 Mm³/s. Ce chiffre qui paraît très fortement surestimé n'est pas ici retenu.

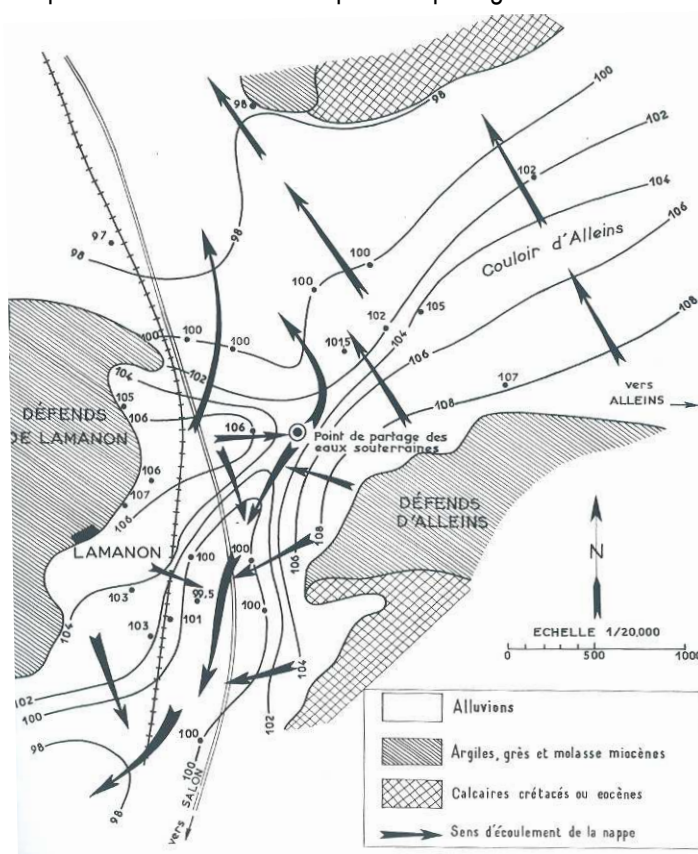
13 AUTRES APPORTS : LES ENTREES NATURELLES

Les formations aquifères constitutives de la nappe libre¹¹ de la Crau, d'une superficie de l'ordre de 550 km², sont géographiquement limitées :

- au Nord, par les marais des Baux, le massif du Signal de Mouriès, le pied des massifs des Opiès et de Défends, le seuil de Lamanon (cf. encadré ci-dessous) ;
- à l'Est, par le massif de Vernègues, le bassin de la Touloubre et les collines d'Istres ;
- au Sud-Ouest, par les marécages qui longent le canal d'Arles à Port-de-Bouc.

Seuil de Lamanon :

Après de nombreuses tergiversations quant aux relations existant entre la nappe alluviale de la Durance et celle des cailloutis de Crau, les travaux de sondages et géophysiques (MRU et EDF) ainsi que les études de J. ARCHAMBAULT ont permis de démontrer que le seuil de Lamanon constituait la limite Nord de la nappe libre de la Crau. Comme illustré par la carte ci-contre, des directions divergentes d'écoulement des eaux depuis le seuil de Lamanon ont en effet pu être mis en évidence : point de partage des eaux souterraines.



Seuil de Lamanon – Schéma hydrogéologique (Source : BURGEAP 1950)

¹¹ Nappe à surface libre

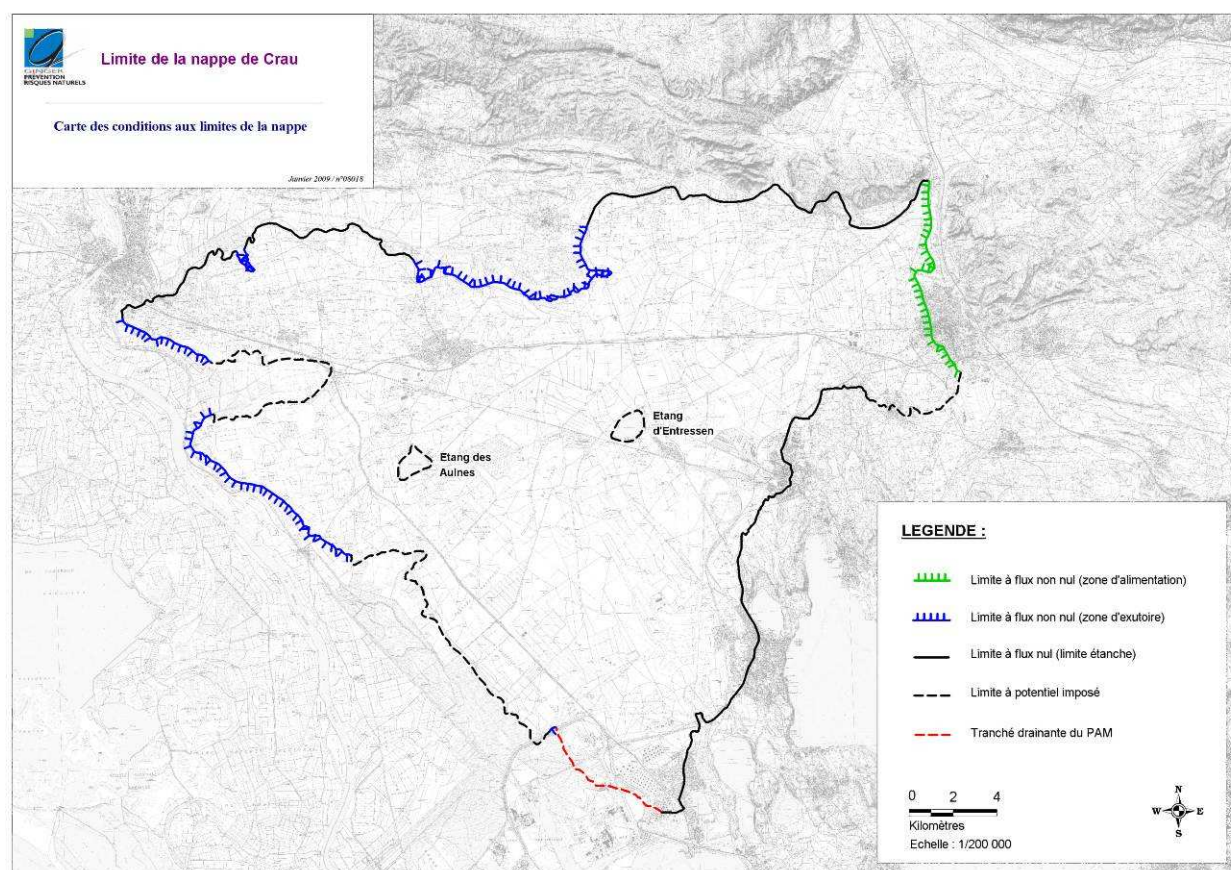
Bien que jouant une part faible dans l'alimentation de la nappe de la Crau par comparaison aux apports par la pluie et les irrigations, des entrées naturelles (sources) peuvent être recensées en partie Nord-NE du territoire de la Crau.

Une zone de recharge de la nappe est plus particulièrement distinguée, à savoir la limite Nord-Est de la plaine représentée par les reliefs urgoniens et miocènes du massif de Vernègues (alimentation au travers des cailloutis et des colluvions du massif).

Des émergences au sein des alluvions, issues du drainage des calcaires, ont en effet pu être mises en évidence :

- source des Aubes,
- source de Curebourse,
- source de Richebois.

Aucune valeur de débit de ces résurgences n'a pu être retrouvée dans la littérature.



Carte des conditions aux limites de la nappe de Crau

IV. ANALYSE DES DIFFERENTES UTILISATIONS

DE LA NAPPE

14 INTRODUCTION

La nappe de la Crau est fortement sollicitée par les usages alimentaires, industriels et agricoles.

Les eaux souterraines sont majoritairement exploitées pour l'alimentation en eau potable des agglomérations telles Arles, Miramas, Port-de-Bouc et, de manière secondaire, pour satisfaire les besoins des habitations dispersées.

De nombreuses industries, par ailleurs, prélèvent des eaux de la nappe en périphérie des grandes villes ainsi qu'au niveau de zones industrielles stratégiques (Fos-sur-Mer principalement) tandis que les besoins agricoles se concentrent tout particulièrement en Centre et Sud Crau.

D'un point de vue quantitatif, **plus de 300 ouvrages d'exploitation de la nappe selon le BRGM (« Aquifères et eaux souterraines en France », tome 2 – mars 2006)**, sont recensés, l'essentiel se répartissant dans les sillons d'Arles au Nord et de Miramas au Sud.

Les proportions relatives des volumes prélevés en 2001 en fonction des usages, présentées dans le tableau suivant, montrent la prédominance forte des usages AEP et soulignent, de fait, l'importance de la gestion raisonnée des ressources de l'aquifère de la Crau.

Usage	Données Agence de l'Eau		Données ANTEA	
	Volume prélevé (milliers de m ³)	Proportion relative	Volume prélevé (milliers de m ³)	Proportion relative
Consommation humaine	21 729.4	67.5%	26 000	54.06%
Industriel	7 271.1	22.60%	12 000	24.49%
Agricole (dont irrigation)	2 657.7	8.30%	11 000	21.45%
Autres – prélèvements domestiques	518.6	1.60%	/	/

Nota : la différence entre les données sur les prélèvements agricoles issus de l'Agence de l'Eau et celles issues d'ANTEA est notamment liée au fait que les données chiffrées de l'AERMC repose uniquement sur les registres de déclaration, alors que l'étude d'ANTEA a donné lieu à des enquêtes de terrain et à l'analyse d'autres données que celles « déclarées » à l'Agence.

15 DEMARCHES D'ENQUETE ET DE SYNTHESE

Dans le cadre de la présente étude, une actualisation des données de prélèvement a été assurée via la compilation d'inventaires existants et la consultation d'un certain nombre d'organismes parmi lesquels :

- la DDASS des Bouches-du-Rhône en charge de la problématique AEP,
- la DRIRE PACA pour les questions industrielles,
- la DDAF et la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône et le Comité de Foin pour les questions agricoles,
- la DIREN PACA,
- l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse,
- le GPMM,
- le BRGM,

- les collectivités territoriales,
- les fermiers.

Les noms des correspondants de chacun de ces organismes (exception faites des communes et des sociétés fermières) sont rappelés dans le tableau suivant :

Organisme	Nom(s) du(des) correspondant(s)
DDASS 13	M. MORLAND
DRIRE PACA	M. MEVAL M. BOISSIER
DDAF 13	M. POMMET M. METRAL
Chambre d'Agriculture 13	M. BAURY
Comité de Foin	M. TRONC
DIREN PACA	M. VALENCIA
Agence de l'Eau RMC	M. ROBERI
GPMM	Mme. DEVEZE Mme. FERIE
BRGM	M. MOULIN

Ces prises de contacts ont été complétées par un travail de recensement des ouvrages exploitant la nappe souterraine grâce à la consultation de rapports (notamment du BRGM et du GPMM) et une recherche directe au niveau de la Banque de Données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM.

Les renseignements ainsi obtenus ont été comparés, recoupés et rassemblés dans quatre bases de données distinctes (Excel et Map Info) intéressant les prélèvements :

- AEP publics,
- AEP collectifs déclarés,
- domestiques individuels,
- à usage industriel
- à usage agricole.

Point méthodologique :

AEP publics : eau potable exploitée et consommée au bénéfice des collectivités territoriales.

AEP collectifs privés : eau potable consommée par un groupement réduit d'usagers (ex : camping, locaux d'ouvriers agricoles, ...).

Prélèvements domestiques individuels : eau potable exploitée par un particulier pour la satisfaction de ses besoins propres.

AEI : eau satisfaisant aux usages industriels (process, ...).

AEA : eau satisfaisant aux usages agricoles (arrosage, irrigation, ...).

Rappels réglementaires – usage domestique :

Police des prélèvements – Décrets 93-742 et 93-743 du 29 mars 1993 : décrets soumettant à autorisation ou à déclaration des activités et installations pouvant présenter des dangers pour la ressource en eau.

Les captages d'AEP sauf ceux destinés à l'usage personnel d'une famille font l'objet d'une procédure d'autorisation quelque soit leur débit :

Procédure de déclaration ou d'autorisation	Les installations et les ouvrages, travaux permettant le prélèvement dans un système aquifère autre qu'une nappe d'accompagnement d'un cours d'eau sont soumis à autorisation ou à déclaration lorsque leur capacité de prélèvement est supérieure ou égale à 80 m ³ /h (autorisation) ou comprise entre 8 et 80 m ³ /h.
--	--

Les prélèvements destinés à un usage domestique ne sont soumis ni à déclaration ni à autorisation au titre de la police de l'eau (mais une déclaration de l'ouvrage est à faire uniquement en Mairie) :

Pas de déclaration ni d'autorisation au titre de la police de l'eau	Constituent un usage domestique de l'eau, les prélèvements destinés exclusivement à la satisfaction des besoins des personnes physiques propriétaires ou locataires des installations. Est assimilé à un usage domestique de l'eau tout prélèvement inférieur ou égal à 1000 m ³ /an.
---	--

Les niveaux de réglementation des forages agricoles :

Exploitation	Consommation annuelle	Débit de pompe	Procédure
Élevage en Installation Classée	-	-	La procédure installation classée suffit
Exploitation de cultures ou élevage non Installation Classée	> 1 000 m ³ /an < 10 000 m ³ /an	-	
	< 1 000 m ³ /an	< 8 m ³ /h	Déclaration
	< 1 000 m ³ /an	>= 8 m ³ /h	Autorisation

Les entrées ou champs renseignés pour chacune des bases de données SIG sont indiqués dans les tableaux de la page suivante.

Un rendu sous-forme cartographique de l'ensemble des ouvrages géoréférencés, par usage et sur fond de plan IGN, a par ailleurs donné lieu à l'élaboration de plusieurs cartes permettant de rendre compte de leur répartition géographique.

Remarque :

De nombreux problèmes ont été rencontrés dans la phase de collecte et de synthèse des données ; ces problèmes, la plupart du temps, sont inhérents :

- à l'absence de mise à jour régulière des métadonnées, voire de valorisation informatique des données d'archives ;
- aux difficultés, pour certaines communautés de communes, de reprendre les dossiers communaux dont ils ont aujourd'hui la compétence ;
- à la destruction des fonds d'archives ;
- à l'absence d'homogénéisation, de suivi et de mise à jour des données quantitatives (évolution des réseaux d'exploitation, ...)
- à la redondance de nombreuses données (phénomène de « doublons ») ;
- etc.

Prélèvements AEP publics	Prélèvements AEP collectifs privés
<p>Indice GINGER</p> <p>Désignation</p> <p>Commune</p> <p>X Lambert II étendu</p> <p>Y Lambert II étendu</p> <p>Z sol</p> <p>Type ouvrage</p> <p>Profondeur ouvrage</p> <p>Débit journalier moyen</p> <p>Critère priorité</p> <p>Gestionnaire</p> <p>Source données</p> <p>Remarques</p>	<p>Indice GINGER</p> <p>Désignation</p> <p>Commune</p> <p>X Lambert II étendu</p> <p>Y Lambert II étendu</p> <p>Z sol</p> <p>Type ouvrage</p> <p>Estimatif annuel (m³/an)</p> <p>Usages</p> <p>Source données</p> <p>Remarques</p>
Prélèvements à usage industriel	Prélèvements à usage agricole
<p>Code point prélèvement</p> <p>Nom ouvrage prélèvement</p> <p>Nom maître ouvrage</p> <p>Type usage</p> <p>Code commune</p> <p>Nom commune</p> <p>Coordonnée X prélèvement</p> <p>Coordonnée Y prélèvement</p> <p>Source données</p> <p>Remarques</p> <p>Volumes annuels BRGM m³</p> <p>Volumes corrigés BRGM m³</p> <p>Volumes captés (m³) (1997 à 2007)</p>	<p>Code point prélèvement</p> <p>Nom ouvrage prélèvement</p> <p>Nom maître ouvrage</p> <p>Nombre ouvrages exploités</p> <p>Type usage agricole</p> <p>Type culture</p> <p>Code commune</p> <p>Nom commune</p> <p>Surface moyenne irriguée (ha)</p> <p>Source données</p> <p>Remarques</p> <p>Coordonnée X prélèvement</p> <p>Coordonnée Y prélèvement</p> <p>Volumes estimés (m³)</p> <p>Volumes déclarés AERMX (m³)</p> <p>Volumes captés (m³) (1997 à 2007)</p>

16 PRELEVEMENT AEP PUBLICS

La nappe de la Crau constitue, au niveau départemental, l'une des principales ressources en eau pour la satisfaction des besoins humains. La totalité des communes du périmètre d'étude est ainsi alimentée via l'exploitation de forages en eau potable.

A ce titre l'aquifère appartient à la catégorie des aquifères à forte valeur patrimoniale qui regroupe les systèmes hydrogéologiques « *fortement sollicités et dont l'altération poserait des problèmes immédiats pour les importantes populations qui en dépendent* » ou « *faiblement sollicités mais à fortes potentialités et à préserver pour les générations futures* ».

Les renseignements utiles sur les captages ont été recueillis auprès :

- des services compétents de la DDASS,
- des intercommunalités,
- des différents fermiers.

Le schéma départemental d'alimentation en eau potable du Conseil Général des Bouches-du-Rhône a par ailleurs été consulté.

Tous types d'ouvrages confondus – forages, puits – **17 captages d'eau potable** sollicitant la nappe de Crau sont recensés, soit un total de **37 points de prélèvement**.

Nota : Un captage est constitué de plusieurs points de prélèvement.

Les principales caractéristiques de ces derniers sont reprises dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Commune	Type d'ouvrages	Gestionnaire
Saint-Hippolyte	Arles	1 puits (P1), 5 forages (F2, F3, F5, F10 et F11)	Société des Eaux d'Arles
Mas Thibert		2 forages	Société des Eaux d'Arles
La Pissarotte / Port Saint-Louis du Rhône		2 forages	SEERC
Les Fiolles	Aureille	3 ouvrages (dont 1 inutilisé)	Régie communale
Le Ventillon	Fos-sur-Mer	3 forages	GPMM
Fanfarigoule / Le Tubé		4 forages	SEERC
Les Tapies / Port de Bouc		3 ouvrages	Régie communale (CAOEB)
Marie-Rose	Grans	Source	SEM
BMW	Istres	2 forages (F1 et F2)	Régie communale (CAOEB)
La Caspienne		2 forages (F1 et F2) et 1 puits rayonnant	SEERC
Entressen ou Canaux Jumeaux		1 puits	SEERC
Sulauze / Miramas		1 puits havé (équipé de 12 barbacanes)	SEERC

Désignation	Commune	Type d'ouvrages	Gestionnaire
Le Lion d'Or	Saint-Martin de Crau	2 forages (F2 et F3)	SPDE
Mas Payan		1 forage	SPDE
Valboisé		2 forages	SPDE
La Crau	Salon-de-Provence	1 forage (F1)	SPDE

D'un point de vue stratégique, la quasi-totalité de ces captages revêtent un caractère prioritaire. Exception faite de 3 d'entre eux considérés comme secondaires – BMW (captage de secours – ce dernier sert régulièrement en remplacement des eaux du canal de Martiques pendant les périodes de chômage des canaux), Base nautique d'Entressen (captage de l'aire de loisirs), Valboisé (ressource complémentaire) – ces captages constituent les **uniques ressources AEP des communes desservies**.

Malgré ce constat, les procédures d'instauration des périmètres de protection des ouvrages ne sont pas toutes terminées.

Les chroniques des volumes prélevés sur la période 1997-2007, établies à partir des informations transmises par les gestionnaires d'eau, ne permettent pas une comparaison stricte de l'ensemble des résultats. En effet, les consommations annuelles de certains ouvrages ne nous ont pas été communiquées, faute de données chiffrées ou pour raison de données peu fiables.

Le tableau ci-dessous rend compte des valeurs globales de consommation, valeurs calculées pour les années dont nous disposons de l'intégralité des relevés de production des captages AEP identifiés en Crau :

Volumes totaux prélevés (m ³ /an)				
2003	2004	2005	2006	2007
27 697 304	26 741 401	25 526 232	26 970 592	27 575 860

Evolution des consommations AEP publics en Crau – Prélèvement en nappe de Crau (2003-2007)

Remarque :

Les chiffres présentés ci-dessus ne tiennent pas compte des volumes d'eau aujourd'hui captés depuis le captage AEP de Valboisé nouvellement mis en service (fin 2007 normalement).

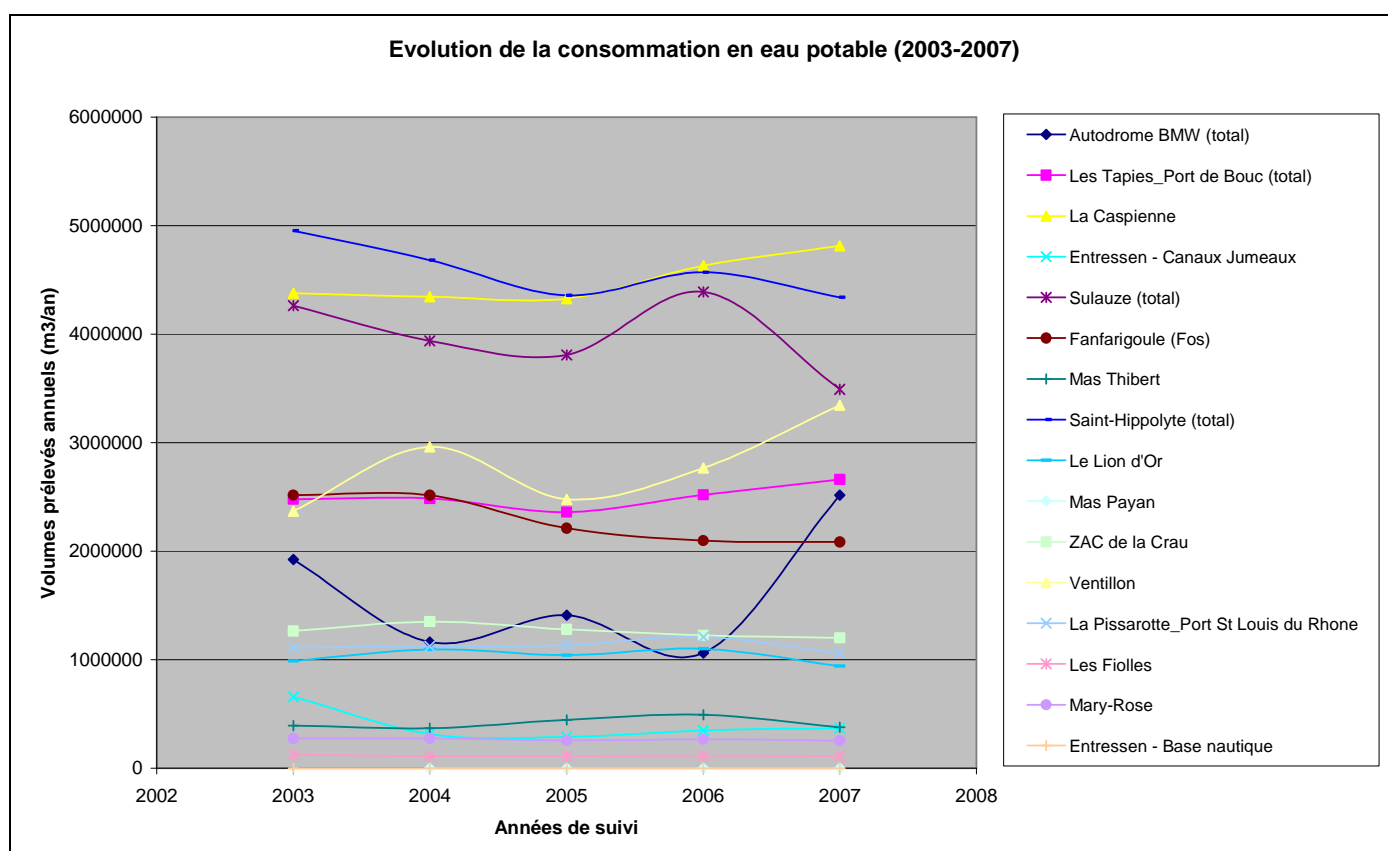
Par ailleurs, aucune donnée de prélèvement à partir du captage de Mas Payan n'a pu nous être fournie, pour l'année 2003. A noter toutefois que ce captage sollicite pour très peu les ressources de la nappe de la Crau (volume moyen prélevé entre 2004 et 2007 : 1 683 m³/an).

Ces chiffres témoignent d'une tendance à l'augmentation des prélèvements en eaux souterraines pour l'AEP. Ce constat devrait, très vraisemblablement, se confirmer les années à venir au vu notamment du renforcement du réseau de distribution des eaux potables avec la mise en service fin 2007 des forages de Valboisé. Un suivi des chroniques « quantité » est recommandé pour confirmer ou infirmer cette tendance.

Le graphique de la page suivante rend compte, pour sa part, de l'évolution des prélèvements pour chaque captage et permet de considérer l'importance relative de chacun d'eux. Le graphique amène plusieurs commentaires :

- relative stabilité des volumes consommés, exception faite de 5 captages (Sulauze, Ventillon, Autodrome BMW, Saint-Hippolyte et La Caspienne)
- évolution en « dents de scie » des consommations annuelles des captages de Sulauze, Autodrome BMW et Ventillon

- *Sulauze* : décroissance de 2007 liée, a priori, à une absence de donnée relative aux exportations en eau, depuis ce captage, vers Saint-Chamas
- *Autodrome BMW* : forte hétérogénéité des volumes d'eau prélevés avec en particulier une nette augmentation des consommations en 2007. A noter sur ce point que des débitmètres ont été installés depuis 2007 seulement en sortie de forage.
- *Ventillon* : forte diminution de l'exploitation en 2005 avant une reprise marquée des consommations en 2006 et 2007 (en particulier).
- distinction de 3 grandes classes de captage en fonction des volumes annuels consommés :
 - *prélèvements annuels > 400 000 m³* : Saint-Hippolyte, La Caspienne et Sulauze
 - *prélèvements annuels compris entre 200 000 et 400 000 m³* : Ventillon, Les Tapies et Fanfarigoule
 - *prélèvements annuels < 200 000 m³* : le reste des captages.

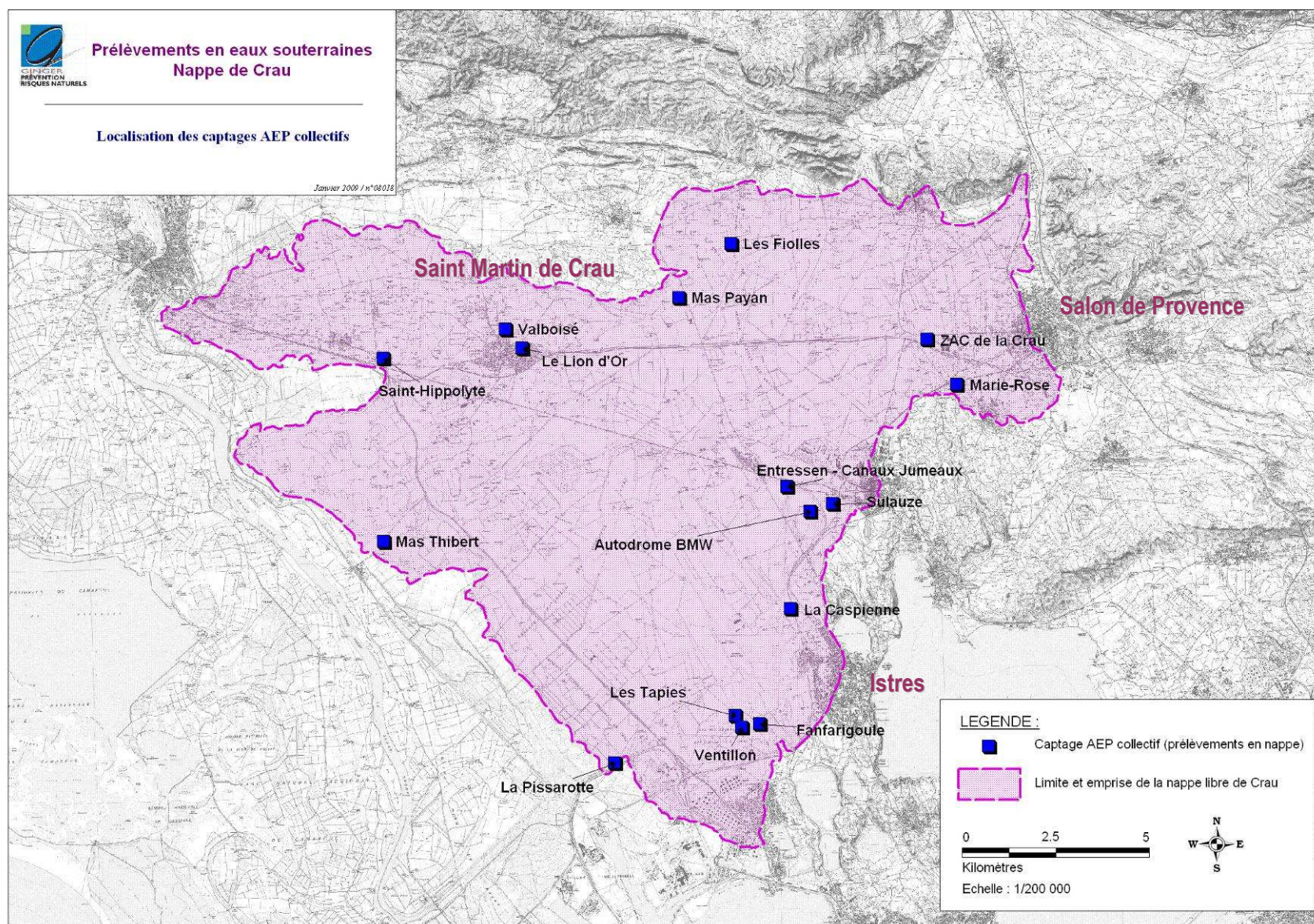


**Evolution comparative des consommations en eau potable issue de la nappe de la Crau (2003-2007)
Captages AEP collectifs de Crau**

En termes de localisation géographique et comme illustré par la carte de la page suivante, il est intéressant de noter que l'essentiel des captages ont été implantés à l'aplomb des principaux axes de drainage de la nappe de la Crau, ceci pour des raisons évidentes de productivité des ouvrages :

- axe N-NE / S-SO : captages de la frange méridionale de la Crau (regroupement des captages sollicitant le plus la ressource en eaux souterraines : La Caspienne, Sulauze et Ventillon)
- axe O-SO / N-NE : captages de la haute Crau partie amont (Saint-Hippolyte, Le Lion d'Ord, Valboisé).

Deux des captages AEP se situent par ailleurs en bordure du territoire de la nappe libre de Crau, ces derniers pompant directement les eaux issues de sources (cas des captages de La Pissarotte et de Grans).



Localisation des captages AEP collectifs sollicitant la nappe de la Crau

17 PRELEVEMENTS AEP COLLECTIFS PRIVES

Au vu de l'importance superficielle de certaines des communes de Crau et du phénomène de « mitage des territoires » bien connu en Provence, de nombreuses habitations et exploitations agricoles (voire sites industriels) ne disposent pas de l'eau courante publique. Afin de satisfaire à leurs besoins en eau domestique et alimentaire, ces dernières font réaliser des puits ou forages privés, ouvrages devant normalement être déclarés auprès des services compétents de la DDASS.

17.1 Prélèvements AEP déclarés

Afin de se rendre compte de l'importance relative des volumes prélevés à des fins privés, des recherches ont été menées auprès de la DDASS afin de constituer une base de données, la plus exhaustive possible, des ouvrages AEP autres que collectifs.

85 ouvrages au total ont pu ainsi être recensés et géolocalisés, pour l'essentiel (cf. carte de la page suivante). Ce chiffre bien que très peu représentatif de la réalité (plus de 2 000 ouvrages existants à dire d'experts) permet cependant de nous renseigner quant aux principaux usages faits de l'eau captée :

- alimentation de logements d'ouvriers agricoles,
- alimentation de structures d'hébergement des touristes,
- alimentation en eau d'exploitations agricoles (fromageries en particulier).

Les volumes journaliers prélevés vont de quelques m³/j à une centaine de m³/j et peuvent excéder, pour un cas particulier (besoins village de vacances + réseau incendie), 750 m³/j. En fonction de ces données journalières déclarées et de celles estimées en fonction de l'usage, la consommation annuelle totale calculée avoisine les **867 094 m³/an**.

Remarque :

Les volumes journaliers prélevés, en l'absence de données source suffisantes, ont été estimés en posant les hypothèses d'entrée suivantes :

- *durée moyenne d'utilisation d'eau domestique par famille : 2 h/j*
- *consommation journalière par personne : 223 l/j*
- *consommation journalière par touriste : 300 l/j*

A ces ouvrages déclarés, il conviendrait d'ajouter les consommations en eau potable des sites militaires présents en Crau. Exception faite de la base d'Istres, aucune donnée quantitative ne nous a été fournie quant aux volumes moyens consommés au niveau de chaque base militaire.

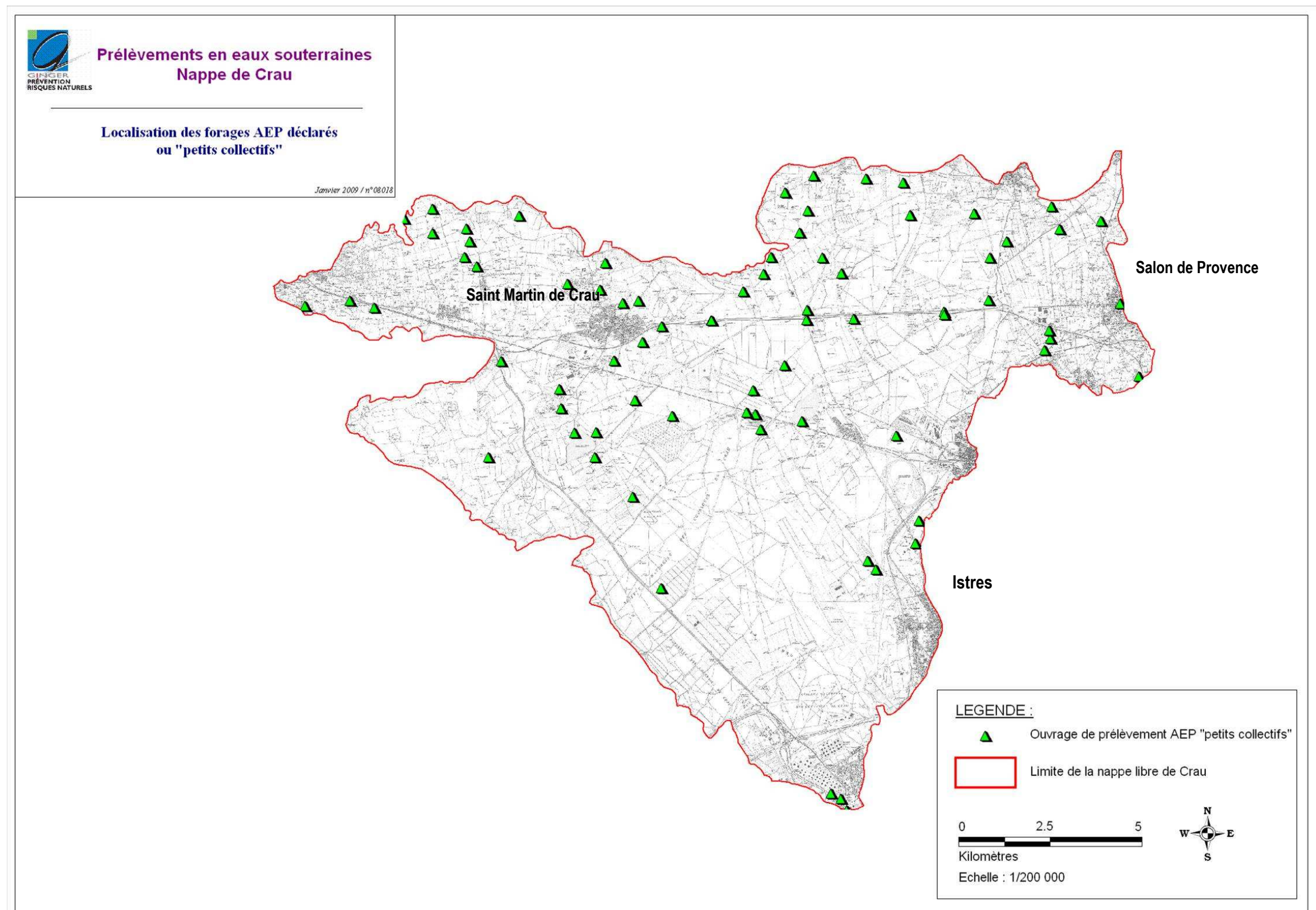
Concernant la base d'Istres, les données quantitatives fournies ou estimées sont rappelées ci-dessous :

- consommation globale de la base estimée en 2007 à **330 000 m³**
- consommation de la base et CEV, fin novembre 2008, de l'ordre de **400 000 m³**
- consommation corrigée par le BRGM, de l'ordre de **350 400 m³**.

Les ouvrages souterrains de ce site ayant déjà été pris en compte dans l'estimatif des prélèvements industriels, aucune modification à la valeur globale attribuée aux 85 ouvrages « déclarés » n'est ici apportée.

En termes de répartition géographique des ouvrages, la carte de la page précédente rend compte d'une concentration relativement importante des captages dans la plaine de haute Crau. Les territoires situés en bordure des contreforts des Alpilles sont particulièrement sujets à l'exploitation des ressources en eaux souterraines. De même est-il intéressant de constater que l'existence en quantité non négligeable d'ouvrages le long des axes majeurs de circulation (RD113, RN113 et A54), ces derniers permettant notamment de satisfaire les besoins en eaux :

- des relais routiers et autoroutiers,
- des restaurants et hôtels de desserte des axes de communication.



Localisation des forages déclarés de type « petits collectifs » (Source : DDAF 13)

18 PRELEVEMENTS DOMESTIQUES INDIVIDUELS

L'importance quantitative des prélèvements AEP domestiques, sur le territoire de la Crau, est aujourd'hui totalement méconnue des services compétents locaux.

18.1 Méthode appliquée

Afin de palier cette méconnaissance, une méthode d'estimation basée sur l'analyse des données d'assainissement autonome a été avancée. Le schéma de principe de détermination du nombre d'installations individuelles, par territoire communal inclus dans le périmètre d'étude, est présenté page suivante.

Une fois les installations autonomes existantes dénombrées, la population correspondante (en nombre d'équivalent habitant) est estimée en posant comme principe de base que toutes les habitations assainies de manière autonome ne sont pas raccordées au réseau d'eau public. Trois hypothèses de calcul sont par ailleurs avancées :

- 3.5 E.H. par installation
- moyenne départementale de consommation en eau domestique : 223 l/j/hab¹² (soit environ 300 m³/an/installation)
- moyenne de consommation en eau pour les usages d'arrosage et piscine (parcelle de 800 m²) : 200 m³/an/ installation (cf. Agence de l'eau).

18.2 Résultats et interprétation

Les différents estimatifs et calculs opérés, en fonction de la méthode retenue, conduisent à une approximation du volume total d'eau prélevée par captages AEP domestiques de **1 532 000 m³/an** environ.

Ce chiffre, malgré sa valeur « approchante », permet de constater que :

- les consommations en eau souterraine pour l'AEP collectifs privés et pour l'AEP domestique sont du même ordre de valeur (volume moyen annuel inférieur à 2 000 000 m³/an)
- les principaux consommateurs se situent dans la partie Nord de la haute plaine de Crau (partie de l'amont hydraulique de la nappe), soit par ordre décroissant :
 - Salon-de-Provence,
 - Arles,
 - Saint-Martin de Crau,
 - Eyguières.

¹² Moyenne tirée du schéma départemental AEP des Bouches-du-Rhône (« dotations » moyennes par classe de taille de communes)

Remarque importante :

La qualité des résultats obtenus et présentés dans le présent rapport est fonction des données d'assainissement disponibles lors de l'étude. L'essentiel des communes – exception faite d'Aureille et d'Arles, ne disposant pas de données précises et géolocalisées, les chiffres calculés sont estimatifs et demandent à être vérifiés ultérieurement, au fur et à mesure de l'amélioration de la connaissance en termes d'assainissement des eaux usées et/ou de la mise à jour des bases de données existantes.

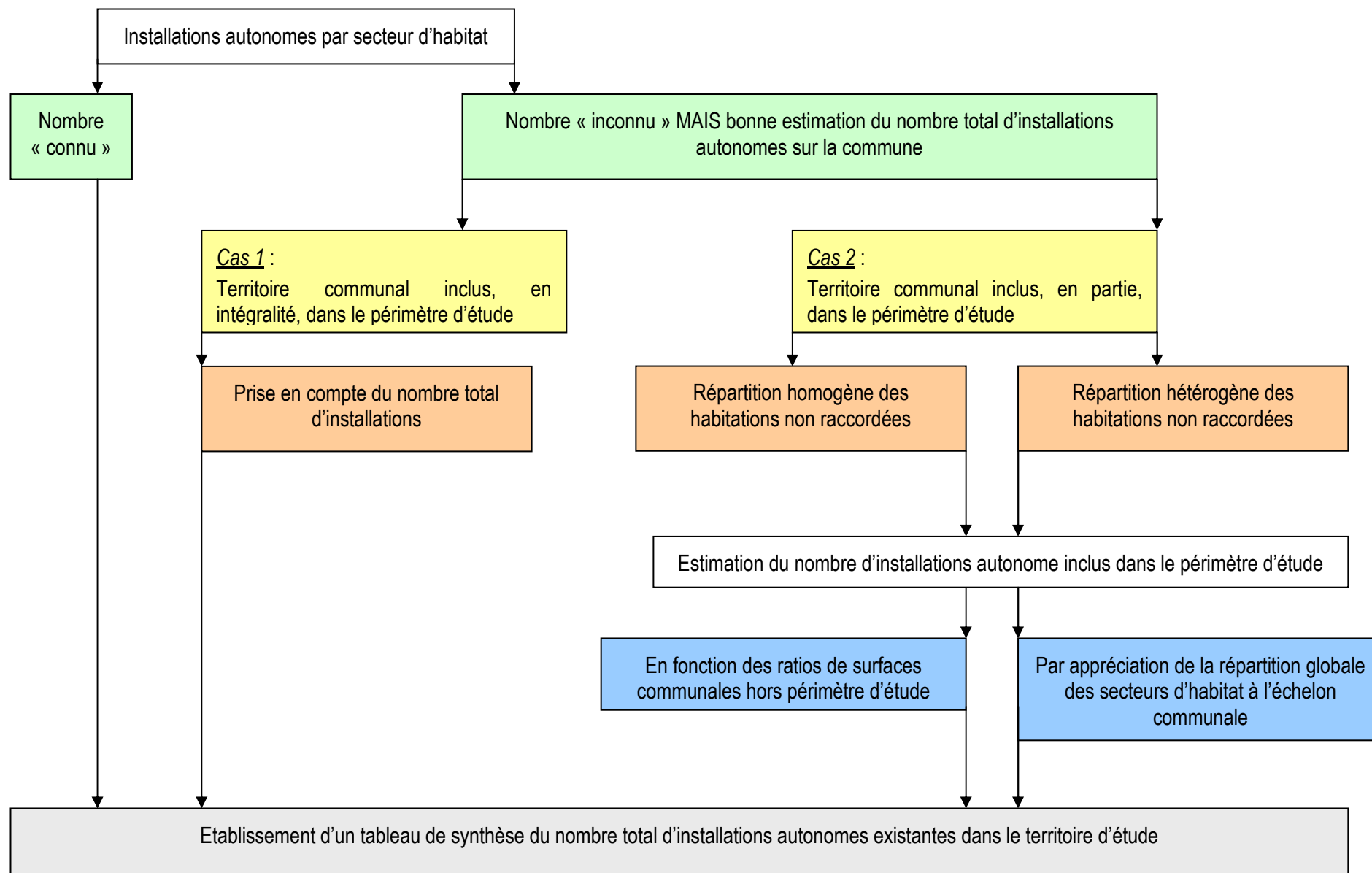


Schéma de principe de détermination du nombre d'installations individuelles d'assainissement existantes au niveau du périmètre d'étude

Sur cette base de réflexion, les chiffres suivants peuvent être avancés.

(Formule appliquée pour le calcul des volumes – Vol. = Nb installations ANC x 3.5 EH/habitation x 223 l/j/habitant + Nb installations ANC x 200 m³/an/habitation)

Commune	Surface totale commune (km²) ¹³	Territoire communal inclus dans le PE ¹⁴		Répartition globale des secteurs d'habitats laissés en autonome	Nombre d'installations autonomes		Volume total de prélèvement (m³/an/installation)
		Surface (km²) ¹⁶	Ratio (%)		Total commune	Territoire communal du PE	
Arles	759.02	113.12	14.90%	Forte proportion d'habitat dans la partie Nord du territoire communal inclus dans le PE ; répartition très hétérogène de l'habitat à l'échelon communal	2 577	1 030 (40%)	515 000.00
St-Martin de Crau	215.56	197.49	91.62%	Ensemble des habitations non raccordées sont dans le PE (restant du territoire : contreforts des Alpilles)	212	212	106 000.00
Mouriès	38.40	8.20	21.35%	Répartition très hétérogène (densité d'habitat très faible au niveau des contreforts des Alpilles) ; dénombrement d'une dizaine de mas dans le PE	20	10	5 000.00
Aureille	21.88	10.87	49.68%	Forte hétérogénéité de répartition de l'habitat entre le Nord (contreforts des Alpilles) et le Sud (plaine habitée très habitée)	220	150	75 000.00
Eyguières	69.79	25.83	37.01%	Essentiel des habitations non raccordées dans le PE	212	200	100 000.00
Lamanon	19.39	1.44	7.43%	Ensemble des habitations non raccordées dans le PE	2	2	1 000.00
Salon-de-Provence	70.71	41.64	58.89%	Essentiel des habitations non raccordées dans le PE	1 200	1 150	575 000.00
Grans	27.79	17.33	62.36%	Hétérogénéité de répartition de l'habitat laissé en autonome : forte densité aux abords immédiat du centre bourg (hors PE) et densité importante mais moins élevée en plaine de Crau	346	173 (50%)	86 500.00
Miramas	25.83	8.32	32.21%	Très forte hétérogénéité de répartition des habitations non raccordées au réseau communal d'assainissement ; moins de 5 habitations de ce type, a priori, dans le PE	338	2	1 000.00
Istres	114.55	88.32	77.10%	Forte hétérogénéité de répartition de l'habitat laissé en autonome ; 3 secteurs principaux de concentration de population (par ordre décroissant) : <ul style="list-style-type: none">- Nord de l'étang de l'Olivier- Sud de l'étang d'Entressen- Est de la base aérienne d'Istres	259	130 (≈50%)	65 000.00
Fos-sur-Mer	87.89	32.61	37.10%	Essentiel des habitats non raccordés hors PE	74	5	2 500.00
						TOTAL :	1 532 000.00

Volumes totaux de prélèvement des eaux souterraines de la nappe de la Crau à des fins d'alimentation en eau potable individuelle – Captages AEP domestiques – Méthode de dénombrement des assainissements non collectifs

Les valeurs marquées en bleu correspondent aux prélèvements les plus importants.

Remarque :
Exception faite de la commune d'Aureille qui dispose de données réelles, les nombres d'installations d'assainissement autonome retenus sont issus :
- de prédiagnostics et d'appréciation de la répartition de l'habitat non raccordé à l'échelle de la commune (cas de Grans, Miramas, Istres et Fos-sur-Mer ; à noter que la SEM réalise actuellement le schéma directeur d'assainissement de Grans)
- d'échanges avec les représentants techniques communaux ainsi qu'avec les services compétents de l'Etat (cas de Salon-de-Provence, d'Eyguières, de Saint-Martin-de-Crau, de Mouriès et de Lamanon)
- de diagnostics en cours (cas d'Arles).

¹³ Déterminé à parti de lecture SIG

¹⁴ Périmètre d'Etude

Par ailleurs, il est intéressant de noter, au vu des contextes locaux (zonages d'assainissement, occupation des sols) et sur la base de la méthode appliquée, l'hétérogénéité de répartition géographique des captages AEP domestiques « supposés ».

Les principaux « foyers de population » (hors populations raccordées au réseau d'assainissement public) sont localisés :

- en périphérie de la ville d'Arles, côte Est (secteur compris entre Pont de Crau et Raphèle-Moulès)
- au Sud-Ouest du centre bourg de Saint-Martin (secteurs du Paty et du Château d'eau)
- entre le canal de la vallée des Baux (dérivation de Mouriès) et le canal de Crau (communes de Mouriès, Aureille et Eyguières)
- en périphérie Ouest et Sud-Ouest de Salon « ville »
- au Sud de l'étang d'Entressen et à l'Est de la base d'Istres (commune d'Istres).

Les données piézométriques disponibles ne permettent pas de statuer quant à une éventuelle influence de ces secteurs particuliers d'exploitation sur l'évolution des niveaux de la nappe. Toutefois et au vu des rapports de grandeur entre volumes prélevés pour l'AEP collectif et l'AEP domestique, l'impact quantitatif des ouvrages individuels sur la nappe est sans doute négligeable ou presque. Des travaux complémentaires (campagnes piézométriques notamment) peuvent être envisagés pour valider notamment ce point :

- étude du comportement de la nappe sous l'effet conjugué des pompages effectués à partir des ouvrages collectifs et domestiques
- étude des éventuelles interactions entre ouvrages de captage (diminution de la réserve disponible, concurrence entre ouvrages, ...).

18.3 Evolution et variante de la méthode

18.3.1 Evolution de la méthode appliquée

De manière générale, il paraît important de pouvoir mieux « maîtriser » les volumes prélevés à partir de la ressource en eau souterraine. Aussi, à cet effet est-il préconisé d'améliorer la connaissance en termes d'existant :

- soit en ayant recours à des inventaires d'ouvrages domestiques (enquête terrain),
- soit en favorisant la réalisation de diagnostic d'assainissement autonome sur chaque commune.

18.3.2 Variante à la méthode

❖ Variante 1 :

Afin de proposer une alternative à la méthode mise en œuvre dans la présente étude, il peut être envisagé d'apprécier les prélèvements en eau souterraine, via les captages privés, au niveau de 2 à 3 communes-type choisies du fait de leur représentativité.

L'estimation du nombre d'ouvrages et des débits prélevés tiendra compte, dans un premier temps de la base de données constituée par la DRIRE (déclaration d'ouvrages) et de la connaissance des représentants locaux (enquête mairie).

Afin de pallier le problème récurrent de non-déclaration des ouvrages par leurs propriétaires, la connaissance acquise par la DRIRE sera complétée :

- par une enquête de terrain,
- par une interview auprès des mairies des communes étudiées.

Compte tenu des difficultés escomptées concernant le volet « enquête de terrain », notamment chez les particuliers, il est proposé en complément de procéder à un recensement des piscines privées (polygone rectangulaire la plupart du temps) via l'analyse des orthophotoplans.

La méthodologie retenue consiste à associer à un groupe de piscines particulier l'existence d'un captage privé et ainsi à apprécier, de manière qualitative, un nombre potentiel d'ouvrages existants par commune. Ces données sont ensuite confrontées aux zonages des documents d'urbanisme afin de donner, par typologie d'occupation des sols, une densité moyenne du nombre de captages privés. Préalablement à toute extrapolation de cette démarche aux communes non visitées, une réflexion commune devra être menée entre le SYMCRAU et le prestataire afin d'arrêter des valeurs cohérentes de densité d'ouvrages par zonages d'urbanisme.

Pour ce qui est de la consommation prévisionnelle des différents propriétaires de captages, outre les ouvrages pour lesquels des données quantitatives seront disponibles auprès de la DRIRE, des valeurs moyennes de volume d'exploitation seront avancées au regard du descriptif global des parcelles par typologie d'occupation des sols. Il s'agira en d'autres termes, au regard notamment de la taille et de l'usage des parcelles, de définir les besoins potentiels en eau.

Remarque :

L'application de cette méthode semble résider, dans le cas présent du territoire de la Crau, de la grande variabilité d'occupation des sols, d'où l'importance du choix des communes à prendre en référence en vue d'une extrapolation des résultats acquis.

❖ Variante 2 :

Une réflexion peut également être menée à partir des données AEP collectif disponibles. Sous réserve d'une connaissance suffisante des communes et communautés de communes concernant leurs réseaux collectifs d'eau potable, il est en effet envisageable :

- de cartographier les secteurs d'habitat raccordés
- de dénombrer le nombre d'habitants alimentés par le réseau public et, par opposition, celui des habitants non raccordés
- de déterminer le volume moyen annuel consommé par habitant (à partir des relevés annuels des fermiers)
- d'extrapoler, à partir de ces différents éléments d'information, un volume global de prélèvement « AEP domestique ».

Cette méthode estimative, à la différence de la variante 1, ne permet pas une réflexion intégrant la dimension « occupation des sols » mais offre l'avantage, au premier abord, d'être plus rapide. Une comparaison des résultats obtenus à partir des trois méthodologies développées ainsi qu'à partir d'une enquête détaillée permettrait de conclure quant à leur validité respective et à la formalisation de celle apparue la plus adaptée au cas de la Crau.

19 PRELEVEMENTS A USAGE INDUSTRIEL

Les données source, relatives à l'utilisation des ressources en eau souterraines à des fins industrielles, sont très limitées. En effet, la DRIRE ne dispose d'aucune banque de données exhaustive sur les ouvrages d'exploitation des nappes à ce jour. Aucun travail du type n'est prévu à court et moyen terme.

Les seules informations disponibles concernent les « gros prélèvements » en eau recensés dans la base de données accessible sur le site Internet du « Registre français des émissions polluantes » du MEEDDAT : www.irep.ecologie.gouv.fr. Après recherche sur ce site, aucun établissement industriel implanté dans le périmètre d'étude n'appartient à cette catégorie.

A défaut de renseignement de la part de la DRIRE, une base de données a été créée par recoupement des quelques ouvrages déclarés à l'Agence de l'Eau RMC et de ceux référencés par le BRGM.

28 ouvrages au total ont pu être identifiés, parmi lesquels certains n'ont pu être localisés par absence de coordonnées géographiques. Un doute demeure pour 6 d'entre eux concernant la nature exacte des formations aquifères sollicitées. En termes de répartition géographique, il est difficile de tirer une réelle conclusion à partir de la carte obtenue (cf. page suivante), le nombre de points de prélèvement recensés étant, en toute vraisemblance, très inférieur à la réalité. Des tendances peuvent toutefois être observées :

- concentration des ouvrages d'exploitation de la nappe en bordure SSO-NNE, soit en périphérie des agglomérations de Miramas, Istres et Fos-sur-Mer
- très faible densité d'ouvrages sur le restant du territoire.

Sur le plan quantitatif, l'estimatif des consommations moyennes annuelles est basé :

- sur les chroniques des débits déclarés à l'Agence de l'Eau entre 1997-2007 (pour 19 points)
- sur les volumes moyens corrigés par le BRGM (pour 9 points).

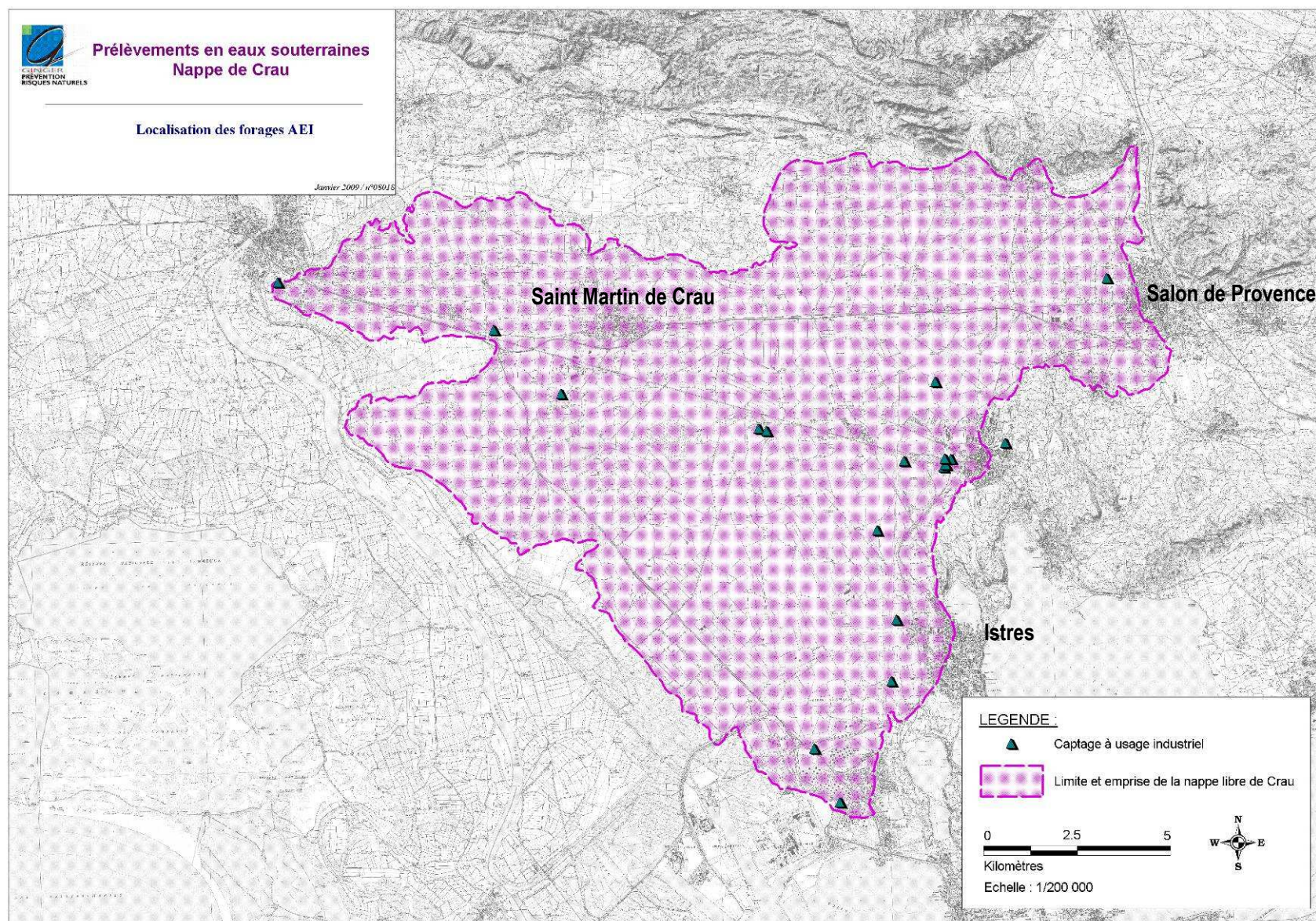
Posant comme hypothèse que les 9 points BRGM ont des consommations stables d'année en année, l'évolution des volumes prélevés à usage industriel peut être appréciée comme suit :

Volumes annuels prélevés pour les usages industriels (m ³ /an)				
1997	1998	1999	2000	2001
16 239 408.00	15 178 064.00	15 497 044.00	16 122 166.00	16 097 792.26

Volumes annuels prélevés pour les usages industriels (m ³ /an)				
2002	2003	2004	2005	2006
15 969 089.70	16 415 877.20	17 680 422.00	16 279 687.00	15 77 9021.00

Chronique des consommations totales annuelles en eau souterraine du secteur industriel (1997-2006)

Les chiffres des tableaux ci-dessus n'amènent pas de commentaires particuliers en termes de tendance à la hausse ou à la baisse de la demande en eau par les industriels, ceci entre 1997 et 2006. A noter toutefois que les maxima ont été enregistrés entre les années 2003 et 2005 incluses avec un pic en 2004 de l'ordre de **17 680 422 de m³ d'eau consommés**. Cette valeur moyenne sera prise en référence et considérée comme valeur minimale des consommations réelles annuelles en eau industrielle, ceci pour tenir compte des incertitudes demeurant quant au nombre exact d'ouvrages industriels (sous-estimation).



Localisation des ouvrages, à usage industriel, sollicitant les eaux souterraines de la nappe de la Crau

Sur ce point, il est intéressant de noter, malgré la disproportion existante entre « nombre d'ouvrages industriels recensés » et « importance des consommations résultantes ». Ce constat fait, il apparaît vraisemblable que les 28 ouvrages identifiés constituent les principaux points de prélèvement en nappe de Crau (sous réserve toutefois de données complémentaires).

Remarque :

Les chiffres de l'Agence de l'Eau RMC de 2007 n'ayant pas été publiés, ceux-ci ne sont pas pris en compte dans la présente analyse.

20 PRELEVEMENTS A USAGE AGRICOLE

La synthèse des données agricoles existantes a donné lieu au recensement d'environ **300 ouvrages** d'exploitation de la nappe de la Crau dans le périmètre d'étude. Ce chiffre, au vu des témoignages recueillis, paraît néanmoins très sous-estimé¹⁵.

Ces derniers sont utilisés, presque exclusivement, pour la satisfaction des besoins en irrigation :

- des cultures maraîchères (tomates, salades, ...),
- des cultures fruitières (arboriculture : pêchers, pruniers, abricotiers).

Les surfaces irriguées, fonction des données disponibles, semblent généralement ne pas excéder les 50 ha. Cette valeur moyenne, très largement dépassée dans certains cas, peut atteindre 365 ha (selon données AERMC).

L'appréciation des volumes totaux captés à partir de ces différents ouvrages souterrains est rendue très difficile. La chronique des volumes réellement prélevés, pour les années 1997 à 2007, est en effet établie uniquement pour les ouvrages déclarés à l'Agence de l'Eau RMC, soit une vingtaine d'ouvrages.

Pour les autres points, nous ne disposons, au mieux, que d'estimatifs proposés par ANTEA dans son rapport de 2001¹⁶, voire de données auto-déclarées par les propriétaires à la DDAF.

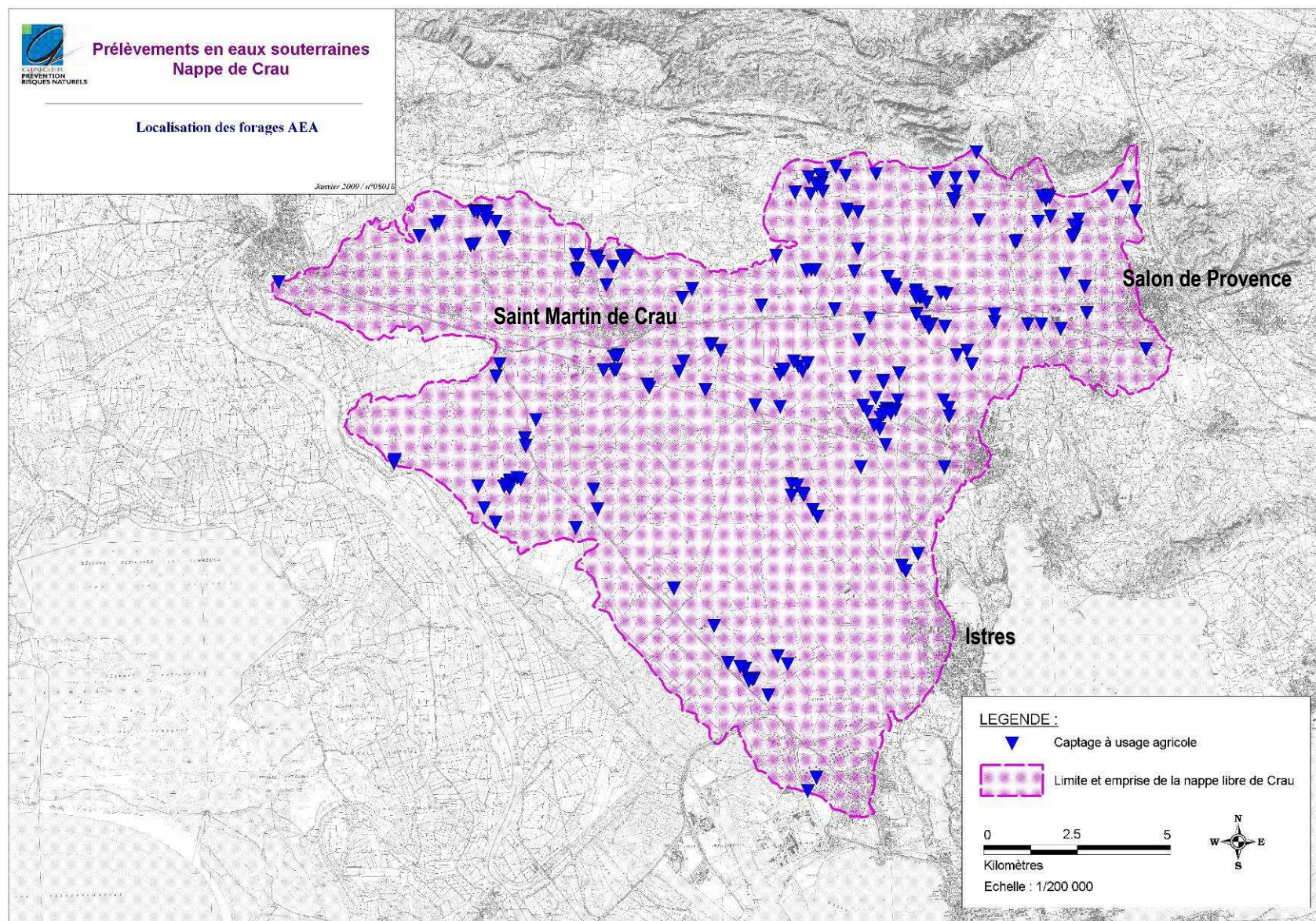
Dès lors, il serait illusoire de proposer une étude de l'évolution de la demande en eau à usage agricole au cours des 10 dernières années.

Sur la base des observations précédentes, la part moyenne de la consommation en eau agricole peut toutefois être évaluée à un minimum de **23 900 000 m³/an**.

En termes de répartition géographique (cf. carte de la page suivante) et ce malgré la reconnaissance partielle des ouvrages agricoles existants en Crau, il est intéressant de remarquer que ces derniers ne se concentrent pas dans la partie Sud du territoire d'étude comme suspecté initialement. A contrario, l'essentiel des forages et puits se retrouve au Nord de la limite définie par la voie de chemin de fer Arles-Miramas.

¹⁵ Bon nombre d'exploitants agricoles semble ne pas avoir procédé aux procédures légales de déclarations d'ouvrage, ceci malgré une campagne incitatrice lancée par la Chambre d'Agriculture ces dernières années (Source : Comité de foin)

¹⁶ « Etude des prélèvements d'eau en nappe de Crau », ANTEA 2001



Localisation des ouvrages, à usage agricole, sollicitant les eaux souterraines de la nappe de la Crau

Ce simple constat apporte un élément de réflexion intéressant quant à l'organisation des pratiques culturales en Crau, permettant notamment de voir que la partie Nord du territoire n'échappe pas à la tendance observée, ces dix dernières années (voire plus), d'une perte d'influence des cultures inondées (foin de Crau) au profit des cultures sous serres et arboricoles.

En outre, reste ouverte la question de l'influence grandissante de l'agriculture maraîchère et arboricole dans la zone littorale : évolution du nombre d'ouvrages et des consommations, impacts sur l'avancée du biseau salé.

21 CONCLUSIONS

Comme explicité dans les paragraphes précédents, la nappe de la Crau est l'objet de nombreuses et multiples sollicitations. L'eau captée répond en effet aux besoins :

- alimentaires (collectifs et privés),
- industriels,
- agricoles.

Au-delà de ce simple constat qui tend à souligner l'importance stratégique de cette ressource en eaux souterraines, les synthèses effectuées permettent une première analyse des volumes totaux prélevés par an, ceci malgré l'imprécision des valeurs chiffrées d'entrée.

Années	Prélèvements totaux (m³/an)					
	2003		2004		2005	
Usages	Volumes	Proportion relative	Volumes	Proportion relative	Volumes	Proportion relative
AEP publics	27 697 304	39.34%	26 741 401	37.82%	25 526 232	37.49%
AEP collectifs privés	867 094	1.23%	867 094	1.23%	867 094	1.27%
Prélèvements domestiques individuels	1 532 000	2.18%	1 532 000	2.17%	1 532 000	2.25%
Industriel	16 415 877	23.32%	17 680 422	25.01%	16 279 687	23.91%
Agricole	23 886 394	33.93%	23 886 394	33.78%	23 886 394	35.08%
TOTAL	70 398 669	100%	70 707 311	100%	68 091 407	100%

Années	Prélèvements totaux (m³/an)			
	2006		Période 2003-2006	
Usages	Volumes	Proportion relative	Volumes moyens	Proportion relative
AEP publics	26 799 078	38.92%	26 691 004	38.40%
AEP collectifs privés	867 094	1.26%	867 094	1.25%
Prélèvements domestiques individuels	1 532 000	2.22%	1 532 000	2.20%
Industriel	15 779 021	22.91%	16 538 752	23.79%
Agricole	23 886 394	34.69%	23 886 394	34.36%
TOTAL	68 863 587	100%	69 515 244	100%

Tableaux comparatifs des volumes prélevés, à partir de la nappe de la Crau, en fonction des différents usages répertoriés (2003-2006)

Remarque importante :

Les tableaux supra ne tiennent pas compte des années pour lesquelles les chroniques de consommation pour l'AEP publics et l'industrie ne sont pas complètes. Par ailleurs, ont été considérés comme constants les volumes d'eau produits pour l'AEP collectifs privés, les prélèvements domestiques individuels et l'agriculture faute de relevés annuels.

Les résultats du tableau précédent amènent plusieurs commentaires :

- nappe d'eau sollicitée en tout premier lieu pour la satisfaction des besoins alimentaires et domestiques (AEP publics, AEP collectifs privés et prélèvements domestiques individuels). Volume total prélevé en moyenne par an de l'ordre de **29 000 000 m³/an**
- important conflit d'usage entre l'AEP et l'agriculture, constat d'autant plus sévère au regard de la sous-estimation entendue des prélèvements agricoles en nappe (nombreux ouvrages non répertoriés)
- inflexion de la consommation AEP collectif depuis 2003, année d'enregistrement des maxima (année de la canicule)
- comparaison de l'évolution des tendances entre l'AEP et l'agriculture impossible du fait de l'absence de suivi « quantité » des volumes d'eau prélevés pour l'irrigation et l'arrosage
- prélèvements domestiques individuels et AEP collectifs privés négligeables au regard des autres usages (AEP publics, agriculture et industrie).

La carte de la page suivante, établie à partir de fourchettes de prélèvements réels prédéfinies (cf. encadré ci-dessous), vient compléter les précédents commentaires.

En effet, il est intéressant de noter que les plus importants sites d'exploitation de la nappe de la Crau (d'un point de vue quantitatif), tous types d'usage confondus, se concentrent suivant deux axes principaux de direction NNE-SSO et NO-SE ; le premier sur lequel de nombreux captages AEP sont localisés coïncide, sur le plan hydrodynamique, avec un couloir d'écoulement préférentiel des eaux souterraines de la nappe.

Par ailleurs, la comparaison entre consommateurs majeurs permet d'observer que :

- **17 ouvrages sollicitent la nappe pour plus de 1 000 000 m³/an** (AEP publics : 8 ; AEI : 6 ; AEA : 3)
- **2 ouvrages AEP privés exploitent la nappe à hauteur minimale de 200 000 m³/an** (site Nitrochimie ; site MAEVA d'Arles non représenté sur la carte par absence de coordonnées géographiques)
- **les besoins en eau alimentaire et agricole sont prédominants en Crau.**

Pour conclure, les démarches entreprises dans le cadre de l'étude des différentes utilisations de la nappe ont permis de constater que bon nombre d'ouvrages d'exploitation de la nappe n'étaient toujours pas déclarés auprès des services compétents. Outre la question des inventaires soulevée par ce constat, se pose le problème des incidences entre ouvrages, actuels et à venir. A ce titre et dans un objectif de gestion intégrée de la ressource, il est recommandé que soient effectuées des campagnes de sensibilisation auprès de l'ensemble des propriétaires d'ouvrages dans un objectif à la fois d'information aux exploitants et d'amélioration de la connaissance.

Point méthodologique :

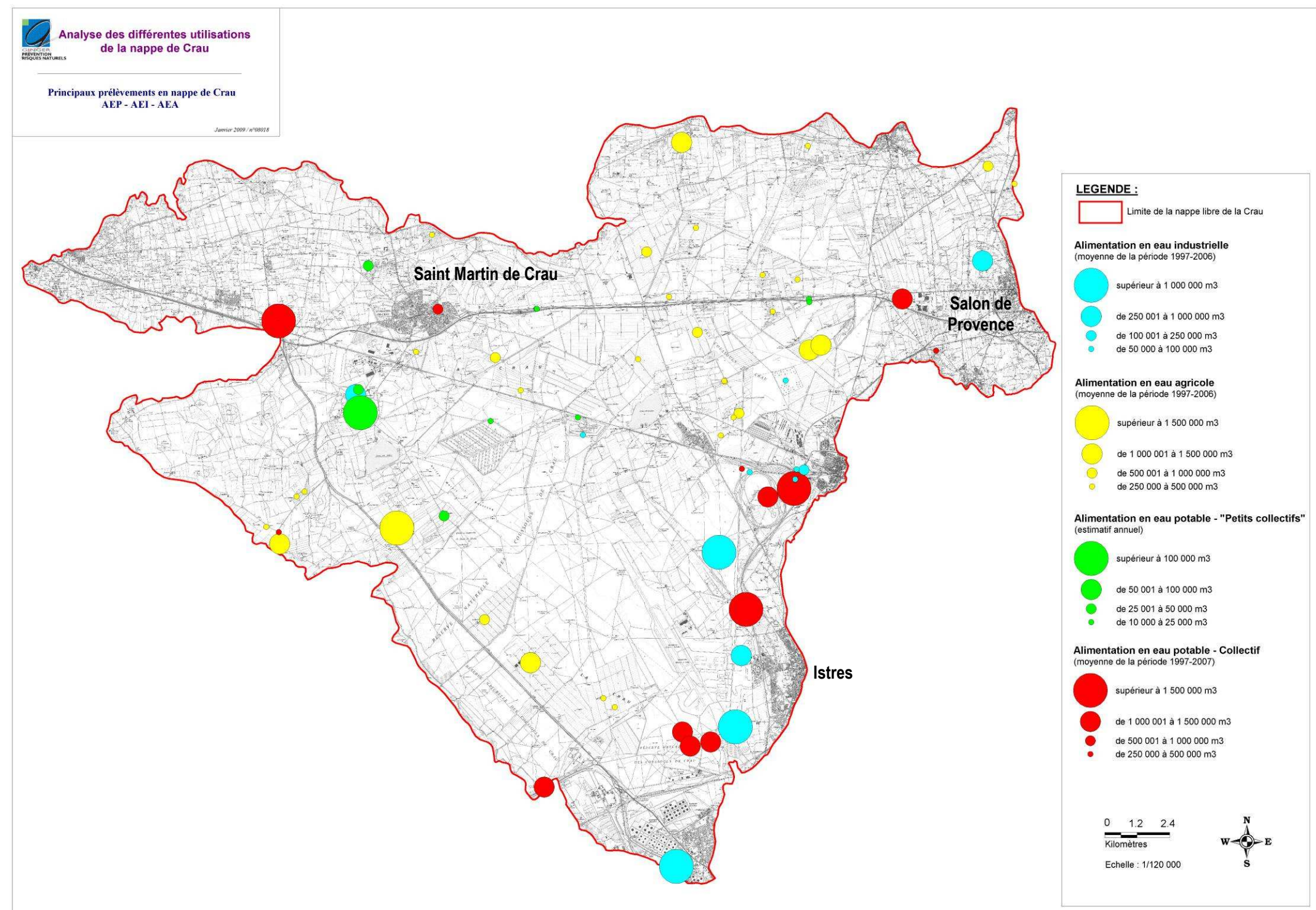
D'un point de vue méthodologique, les **fourchettes de valeur retenues ont dû être adaptées en fonction des usages considérés** (AEP collectif, privé, AEA et AEI) du fait des différences notables existantes entre les volumes annuels moyens prélevés. Les tailles des figurés de la carte (ronds pleins) ne sont donc pas directement comparables entre elles.

Par ailleurs ont été affectés à chaque point une valeur unique correspondant, selon les cas :

- à une moyenne des consommations annuelles : cas des captages
 - AEP publics (moyenne 1997-2007)
 - AEI (moyenne 1997-2006)
 - AEA (moyenne 1997-2006)
- à la valeur de consommation annuelle extrapolée à l'ensemble des années de la période 1997-2007 : cas des captages
 - AEP collectifs privés, AEI et AEA pour lesquels n'existent pas de relevés annuels.

Enfin, certains points de captage devant normalement être cartographiés non pu l'être pour des raisons d'absence de données source (pas de coordonnées de géoréférencement ou pas de données de consommation) :

- AEP publics : 16 individus retenus dont 16 géoréférencés et 12 avec données quantitatives
- AEP collectifs privés : 14 individus retenus dont 10 géoréférencés et 4 non localisés
- AEI : 28 individus retenus dont 22 géoréférencés et 6 non localisés
- AEA : 35 individus retenus dont 34 géoréférencés et 1 non localisé.

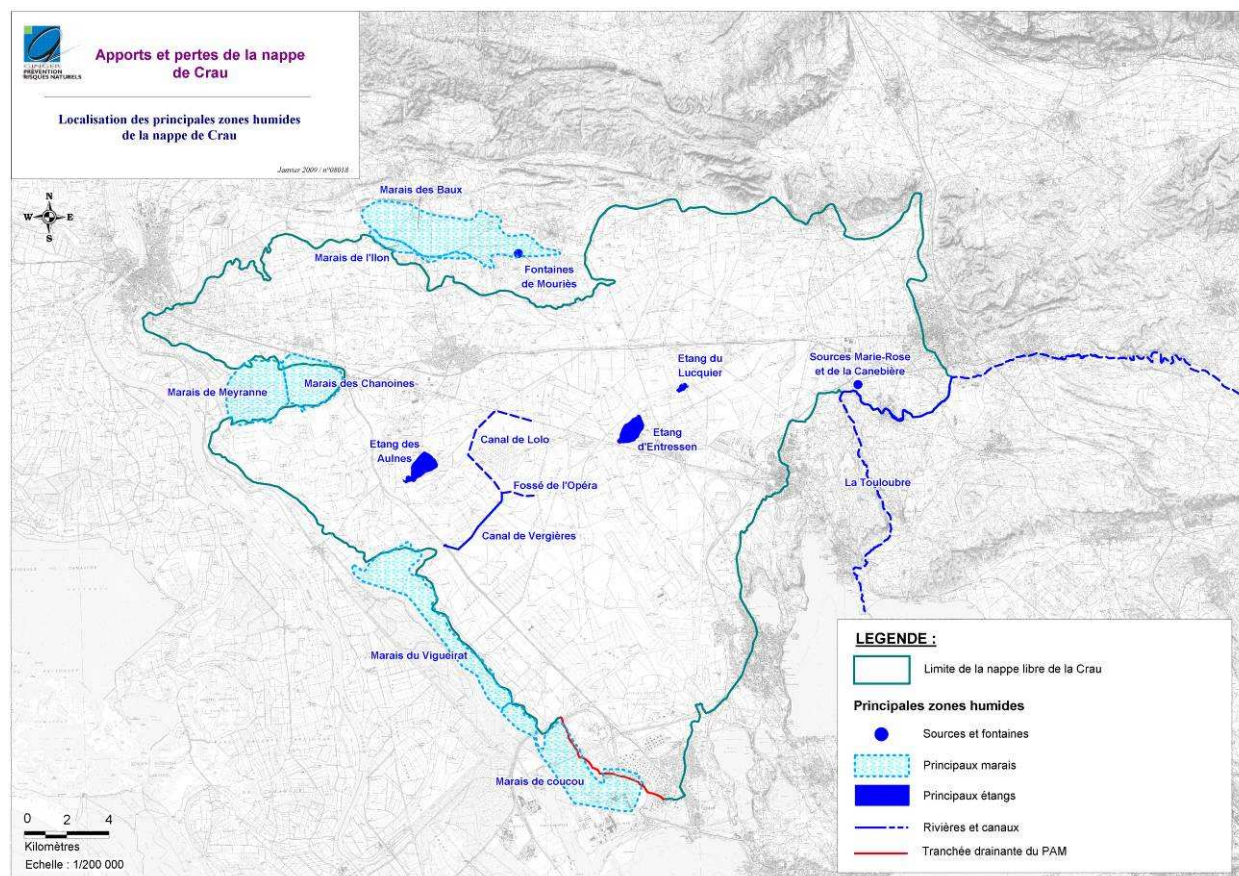


Principaux prélèvements en nappe de Crau – AEP / AEI / AEA (période de suivi 1997-2007)

V. ANALYSE DES DIFFERENTES SORTIES
NATURELLES DE LA NAPPE

22 PRINCIPALES ZONES HUMIDES DE LA CRAU

Le territoire craven, bien que dépourvu de réseau hydrographique du fait de la nature très perméable des cailloutis de Crau, comprend plusieurs zones humides (étangs, marais, zones de sources) présentées dans les paragraphes suivants. Les zones humides, ici retenues et dont la relation de dépendance avec l'aquifère de la Crau est prouvée, se situent au droit ou sur le pourtour des limites de la nappe libre de Crau.



Localisation des principales zones humides de la nappe de la Crau

Remarque :

La liste des zones humides arrêtée dans le cadre de l'étude n'est pas exhaustive. D'autres plans d'eau sont notamment recensés au sein du périmètre de la nappe libre de la Crau, tel l'étang des Aulnes. Choix a toutefois été fait de ne présenter que ceux pour lesquels existent des données bibliographiques et dont les relations avec la nappe de la Crau sont remarquables.

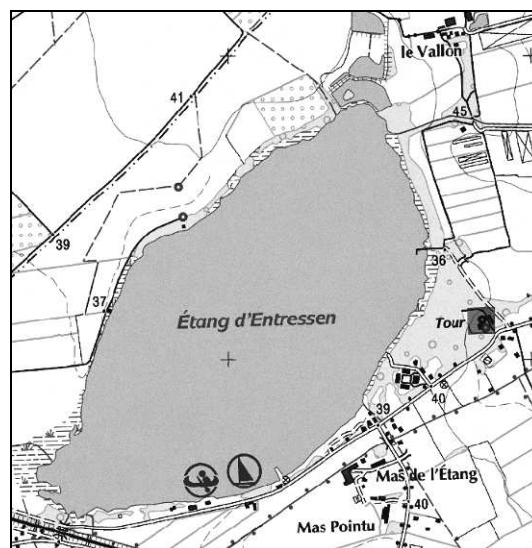
Trois types de fonctionnement des zones humides peuvent être distingués :

- zones de débordement ou « gouttière » (Cas du marais des Baux et de la Meyranne),
- zones de remontée du substrat (cas des Etangs d'Entressen et des Aulnes),
- zones d'affleurement de la nappe (cas de l'Etang du Lucquier).

22.1 Etang d'Entressen



Etang d'Entressen (Source : M. GOMEZ-BLASCO)

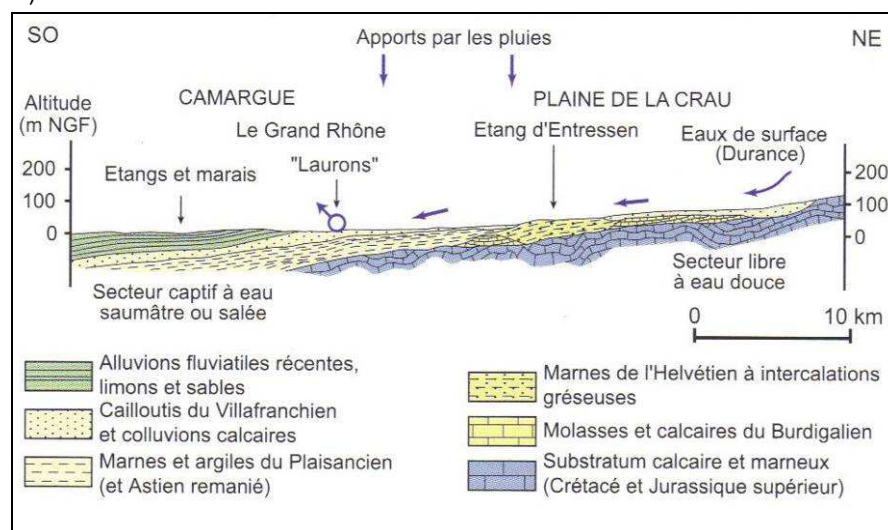


Etang d'Entressen

Situé sur le territoire de Crau entre l'étang de Berre et les Alpilles, l'étang d'Entressen constitue une ancienne dépression laissée par la Durance lors de la formation de la plaine. En termes géologique, il correspond à une zone d'affleurement du substratum de l'aquifère craven (marnes ; cf. figure ci-dessous) et est alimenté par les sources de débord de la nappe de la Crau (débit estimé à $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ selon les modèles simulés du BRGM) mais également par le ruissellement superficiel et la pluie (surface de l'étang). Bordé de roselières et de ripisylves propices à la reproduction des espèces, cet étang d'eau douce couvre une superficie de l'ordre de 110 ha et est profond de 8 m au maximum (altitude minimale : 36 m, altitude maximale : 38 m).

Le caractère remarquable du site (ZNIEFF de type II) est souligné par la présence de « deux espèces déterminantes et trois remarquables. Sur ses rives se reproduisent le Rollier d'Europe (...), le Busard des roseaux (...), le Grèbe huppé (...) et le martin-pêcheur. Les Reptiles sont quant à eux notamment représentés par notre rare tortue aquatique indigène, la Cistude » (extrait de la fiche de présentation DIREN de la ZNIEFF n°13-134-100 « Etang d'Entressen »).

Les tendances évolutives du plan d'eau témoignent, aujourd'hui, d'une dégradation de la qualité de l'eau (mettant notamment en péril certaines activités dont le nautisme) ainsi qu'une régression de la ceinture de roselière qui affecte la pêche et modifie le paysage.



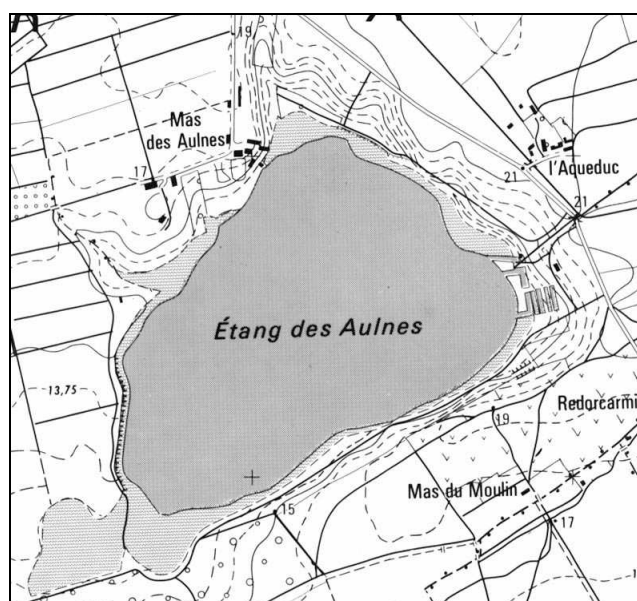
Coupe hydrogéologique schématisée de la Crau (Source : BRGM)

22.2 Etang des Aulnes

L'étang des Aulnes correspond à une vaste pièce d'eau alimentée par la nappe de la Crau dont les berges sont plutôt abruptes. Le débit de sortie est estimé, selon les modèles simulés par le BRGM, à 0.05 m³/s.

Les autres sources d'apport en eau de cette pièce d'eau sont représentées par :

- le ruissellement superficiel,
- la pluie (surface de l'étang).



Etang des Aulnes

22.3 Etang du Luquier

L'étang du Luquier, espace naturel protégé (ZNIEFF terrestre de type II), couvre une superficie de 23 hectares environ et se situe à une altitude comprise entre 49 et 52 m NGF.

Localisé au milieu du Coussous, ce plan d'eau entouré de formations palustres amphibies correspond à une zone d'affleurement de la nappe de la Crau. Aucun document bibliographique ne mentionne le débit de sortie qui lui étant associé.

22.4 Marais des Chanoines et de Meyranne

« Les marais des Chanoines et de Meyranne sont constitués d'un complexe de zones humides associant des prairies fauchées, des secteurs connaissant des remontées salines (à l'Ouest), et de vastes marais. L'alimentation des marais grâce à l'eau qui jaillit des laurons, eau qui est à une température constante toute l'année autour de 16°C, permet à une flore froide et tout à fait inattendue de se développer ici dans un ensemble parfois tourbeux. Ce site est en cela complémentaire du marais de l'Audience plus au Sud » (extrait de la fiche DIREN, ZNIEFF n°13-100-151).



Marais de Meyranne (Source : Conservatoire du Littoral)

Les deux unités écologiques, d'emprise au sol de l'ordre de 1 313 hectares, se situent à une altitude comprise entre 0 et 7 m NGF.

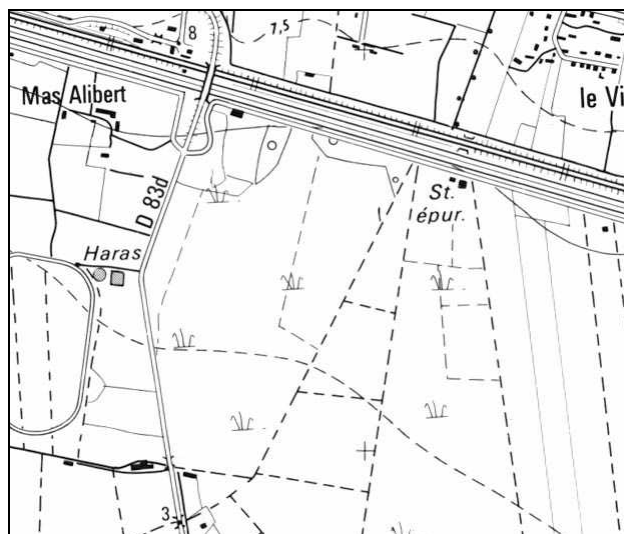
22.4.1 Marais des Chanoines

Il s'agit d'un marais très certainement très ancien. Dans sa partie Nord et Est, l'épaisseur de la tourbe est suffisante pour permettre son exploitation au niveau du « Moulin », le long du canal de la Chapelette.

A l'Est du Mas Alibert, le marais à schoen noir est parsemé de **nombreux laurons alimentés par la nappe** (alimentation de petits ruisseaux).

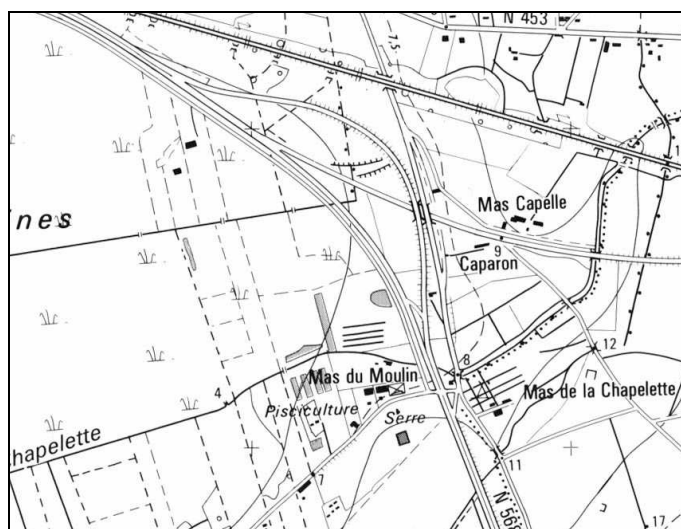
Les conditions d'accès sont peu favorables (propriétés privées, élevages de taureaux, ...) à la prospection des laurons situés sur la « Manade des Chanoines ».

Marais susceptible d'abriter des espèces intéressantes pour la Crau (espèces de marais tourbeux de moyenne montagne, ...).



Secteur Nord du marais des Chanoines

Le canal de la Chapelette est relativement eutrophe puisqu'il reçoit les eaux de la station d'épuration de Saint-Martin de Crau.



Secteur Est du marais des Chanoines

Remarque :

Lauron : du provençal lauroun (surgeon, source à fleur de terre) ; se dit en pays de Crau.

Au milieu des marais, c'est un endroit où le sol s'étant brusquement affaissé, il s'est formé comme une baignoire ou une piscine, pleine d'eau naturellement.

Généralement sur les bords, la végétation est différente de celle des alentours.

Informations pour le DOCOB :

3260 : Rivières (et sources) oligotrophes basiques - CODE CORINE 24.42 x 24.12

Il s'agit d'une végétation d'eaux courantes, parfois de sources, développée sur calcaires, marnes ou alluvions fluviales basiques, aux étages montagnard (rare), collinéen et surtout planitiaire et d'un habitat typique des têtes de bassins versants calcaires peu enrichies et des rivières phréatiques basiques.

Les espèces phanérogamiques y sont communes, hormis quelques formes ou taxons peu fréquents (*Potamogeton coloratus*, *Juncus subnodulosus* fa. *fluitans*), contrairement aux characées (*Chara hispida*, *Chara vulgaris*, *Nitella opaca*).

Ce sont des zones de reproduction et de croissance des Truites (*Salmo trutta*).

Des travaux ou modifications hydrauliques entraînent la disparition du groupement : busage des petits fossés et rus, enfouissement de la nappe alluviale, curages et

recalibrages très intenses (s'il y a élimination de la banque de graines et diosspores ou recolonisation rapide par les hélophytes).

L'eutrophisation, et notamment l'enrichissement en orthophosphates et en ammonium, est le risque majeur de régression de ces communautés, avec une élimination des espèces oligotrophes ; elle accélère le passage aux groupements mésotrophes. Une telle élimination a été observée après implantation d'une pisciculture. Elle est aussi imputable aux rejets domestiques, aux débordements des cours d'eau principaux, plus eutrophes, et parfois à des pollutions minières (sel des mines des Potasses d'Alsace sur le Rhin).

Les états à privilégier correspondent, en milieu éclairé, à des groupements assez ouverts avec des herbiers de *Potamogeton coloratus* et de *Chara hispida* bien développés, ne freinant pas trop l'écoulement, avec peu de *Berle*.

Lorsque les ruisseaux sont ombragés, l'alternance des faciès d'écoulement et des substrats permettent le développement de cryptogames et il est important de veiller à un éclaircissement assez important, éventuellement sous forme de trouées en milieux forestiers ou avec une ripisylve pas trop dense et continue, pour que le *Potamogeton* puisse se maintenir.

Ce texte est extrait des « cahiers d'habitat » Natura 2000 sur le site

www.environnement.gouv.fr

22.4.2 Marais de Meyranne

Cette zone humide, du fait de son altitude très basse (cote aux environs de 2 m NGF), constitue une dépression drainant les eaux souterraines de la nappe de la Crau. Les documents bibliographiques consultés indiquent un débit moyen des résurgences de Meyranne ou « laurons » de l'ordre de, voire supérieure à, **1 m³/s**.

Outre les apports depuis la nappe, le marais est également alimenté en eau grâce aux colatures des irrigations.

Il est par ailleurs parcouru, selon les directions Est-Ouest et Nord-Sud par des canaux – canal de Chalavert, de Meyranne, de Roubine de la Chapelette, du Ceintureau et de Viage – raccordés au canal de drainage du Vigueirat lequel débouche sur le canal de navigation d'Arles à Bouc qui fait office de « drain général ».

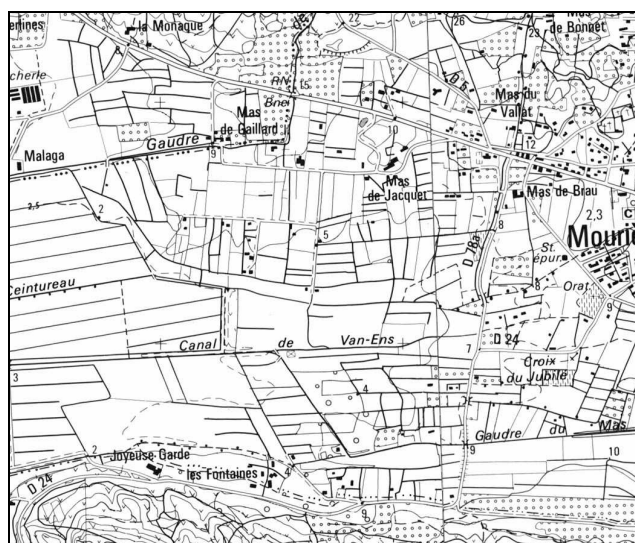
En termes d'occupation des sols, les **étendues en eau libre** du marais sont ceinturées par une végétation typique des zones humides ; ainsi sont distingués, de l'extérieur vers l'intérieur (zone inondable) :

- des molinies ou marisques (*Molinio-Holoschoenion*) (graminées ; milieux humides de nature argileuse),
- des roselières (*Pragmitetum*) (roseaux ; milieux humides proches de la tourbe),
- des nénuphars blancs (*Myriophyllo-Nupharetum*) (au niveau des laurons ; plantes aquatiques).

22.5 Fontaines de Mouriès

La plaine des Baux est devenue une plaine agricole cultivée à la suite d'importants travaux de drainage et la construction de canaux. L'hydraulique est ainsi parfaitement contrôlée, par exemple dans le domaine de Malaga.

L'ancien marais a été entouré de digues pour l'isoler du reste de la plaine. Les terres sont drainées de l'amont vers l'aval, l'eau de drainage étant ensuite pompée pour être évacuées dans le canal central de la Vallée des Baux. A la belle saison, ces terres peuvent être irriguées par les eaux de la Durance.



Secteur des fontaines de Mouriès et alentours

Ce système de polder artificiel ne laisse pas beaucoup de place pour la nature sauvage. Il est d'ailleurs très révélateur de constater que ce type d'aménagement est propice à l'envahissement des espèces exotiques comme la jussie, la tortue de Floride, l'écrevisse de Louisiane et le ragondin.

Ce milieu naturel artificialisé est également marqué par la présence de **zones de sources et de laurons alimentés par le débordement de la nappe de la Crau** (située à une altitude supérieure de 70 m à l'Est de la Vallée).

Le lauron le plus important se trouve au lieu-dit « les Fontaines » sur la commune de Mouriès. Cette source offre un **débit très important (plusieurs centaines de litres par seconde) et une eau de bonne qualité** (comme suggéré notamment par la présence d'un magnifique herbier de potamot coloré). Cette source alimente un véritable « ruisseau phréatique » et quelques plans d'eau.

Selon les jaugeages réalisés par la BRGM en juillet 1963, les sources semblent déborder **en moyenne 0.9 m³/s**, les débits pouvant varier et notamment dépasser le m³/s à certaines époques de l'année.

A noter que l'espèce caractéristique de ce secteur particulier (fontaine de Mouriès) est l'agrion de Mercure (Coenagrion mercuriale) : site très important pour sa reproduction.

22.6 Marais des Baux et marais de l'Ilon

22.6.1 Marais des Baux

Les marais des Baux, de superficie de l'ordre de 480 hectares, correspondent à une zone de dépression d'origine tectonique¹⁷ sous dépendance (au moins partielle) des résurgences de la nappe de la Crau.

Ces zones marécageuses, situées hors bassin de la Crau et d'altitude très faible (entre 0 et 2 m NGF), s'étendent de Mouriès à l'Est jusqu'à Arles à l'Ouest et sont limitées au Sud par les falaises de l'Ilon. Leur alimentation est assurée :

¹⁷ Dépression d'origine tectonique entre les Alpilles au Nord et la cuesta pliocène de la Crau sur la Durance) sous dépendance (au moins partielle)

22.7 Marais du Vigueirat – Marais de Coucou

22.7.1 Marais du Vigueirat

Le drainage de la plus grande partie de la nappe de la Crau s'effectue dans une zone de marais étendue en longueur du Nord-Ouest au Sud-Est, le long du canal d'Arles à Bouc. Les nombreuses sources (appelées « laurons » au sein des marais), mises à jour à la périphérie des cônes d'épandage des cailloutis de Crau, présentent des débits pouvant avoisiner le m^3/s . Une ancienne tentative d'assèchement des marais semble avoir permis d'évaluer le débit des laurons à $3 \text{ m}^3/\text{s}$ « par défaut » (Source : PH. ZURCHER).

L'essentiel de l'eau est évacuée par un système de canaux (dont celui du Vigueirat raccordé au canal d'Arles à Bouc) qui permet finalement le rejet des eaux au niveau de la mer.

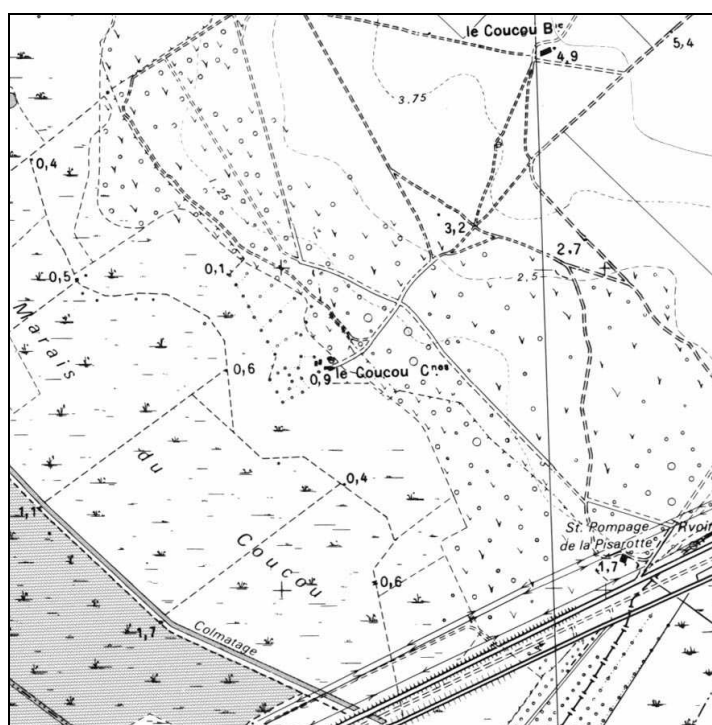
22.7.2 Marais de Coucou

Le marais de Coucou est situé à l'extrémité méridionale du site NATURA 2000. Il se poursuit cependant encore plus au Sud, en direction de Fos-sur-Mer, autour du Mas de l'Audiance.

Ce marais est situé entre la chênaie verte de la costière de Crau et le canal de Colmatage. Il s'agit d'un marais doux bien qu'il se trouve très proche de la limite des milieux salés camarguais.

Les stations de pompage de Fos et l'écluse anti-sels qui est actionnée en cas de tempête, peuvent modifier l'écoulement des eaux sur le marais.

En termes d'apports, il est **alimenté par des résurgences toujours fraîches de la nappe de la Crau**.



Secteur du marais de Coucou

Ce marais forme une mosaïque de milieux : Marais à *Schoenus nigricans* ou à *Cladium mariscus* ; prairies humides de *Molinia coerulae* ; mares temporaires ; laurons permanents ; canaux de drainage, etc.

La faune odonatologique de ce secteur est marquée par l'abondance des espèces liées aux résurgences comme le *Ceragrion tenellum* et l'*Orthetrum coerulescens*.

22.8 Sources de Grans

Situées en bordure orientale du bassin de la Crau, les sources Marie-Rose et Canebière constituent des sorties d'eau de la nappe. Les données bibliographiques issues du BRGM font état de débit moyen inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$:

- source Marie-Rose : **$0.040 \text{ m}^3/\text{s}$** ,
- source de la Canebière : **$0.0051 \text{ m}^3/\text{s}$** .

A ces chiffres doit être ajouté le débit permanent de Fanfarigoule correspondant aux fuites du barrage – 0.005 m³/s – soit un total de débit des sources de l'ordre de **1 m³/s**.

Remarque :

La source de Fanfarigoule qui représentait anciennement la seule échancrure permettant l'écoulement des eaux de la nappe sur la bordure orientale du bassin de la Crau, au-delà de Grans (partie Nord), est maintenant fermée par un ouvrage. A noter en effet que les terrains miocènes (molasse et marne helvétiques, molasse burdigalienne) de faible perméabilité empêchent, dans ce secteur particulier, le drainage de la nappe de la Crau vers l'Est, vers l'étang de Berre ou les étangs de l'Olivier et de Lavalduc.

Barrage de Fanfarigoule :

« Au lieu-dit Fanfarigoule, à environ 4 km au Sud d'Istres, existait un exutoire naturel de la nappe de la Crau. Par suite de l'augmentation du débit de cette source depuis quelques années, en liaison avec le développement des irrigations, le niveau des étangs de Lavalduc et d'Engrenier, dans lesquels se jette le court ruisseau issu de cette source, avait augmenté considérablement au point de submerger la route. Les compagnies salinières, désirant abaisser le niveau de ces étangs afin de les convertir de nouveau en marais salants, ont été amenées à établir un barrage, avec rideau d'étanchéité latéral, dans le talweg et à empêcher ainsi l'écoulement de la nappe de la Crau par la « fenêtre » existante (Source : BRGM¹⁸).

22.9 Rivière La Touloubre

Au Sud immédiat de Salon-de-Provence, la nappe des cailloutis de Crau est partiellement drainée par la Touloubre présente en limite Est du bassin craven sur une longueur très limitée : collature d'irrigation et source de Marie-Rose. Les échanges avec la nappe, de fait, restent limités ; la fraction de la nappe sous influence de la Touloubre (secteur où la puissance des cailloutis est faible) est estimée à 4 km² (Source : BRGM).

Les simulations réalisées par le BRGM sous MARTCRAU, en régime permanent, ont abouti à une évaluation du débit de sortie depuis la vallée de la Touloubre de l'ordre de **0.05 m³/s**.

22.10 Zones humides artificielles :

22.10.1 Drainage du complexe de Fos

La tranchée drainante, construite lors de l'aménagement de la zone industrielle de Fos-sur-Mer et de longueur 5 km environ, recoupe les formations caillouteuses de Crau.

Antérieurement à sa construction, le secteur sur lequel elle se situe correspondait à une zone de marais, la nappe de la Crau y étant alors sub-affleurante (cote NGF de 1 à 2 m).

Construite afin d'assainir la zone en vue de la construction des infrastructures du GPMM, la tranchée constitue un axe de drainage de la nappe qui trouve son exutoire dans le canal se jetant dans la darse Sud du port de Fos.

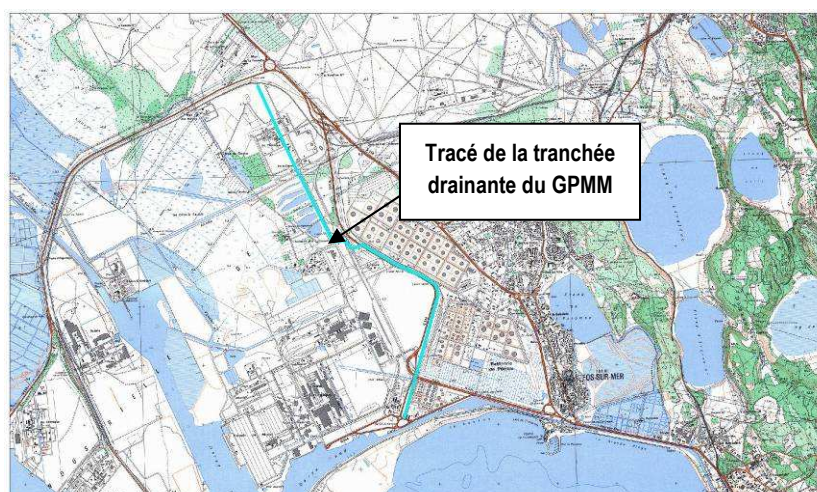
¹⁸ A. CAMUS & als., « Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 30 juin 1963 sur le territoire des feuilles topographiques au 1/20 000 d'Istres 2-3-4-6 et 7 », BRGM 1963

L'ouvrage, du fait de son fonctionnement, permet un abaissement local du niveau piézométrique de la nappe et le maintien de son niveau sous la surface du sol. Il joue donc à la fois un rôle de collecte, d'évacuation des eaux souterraines et d'assèchement des marécages. Ce rôle est d'autant plus manifeste et notable en période de « hautes » eaux : rabattement des niveaux naturels de la nappe et rejet des eaux excédentaires du système.

Les seuls chiffres estimatifs des débits de sorties de la nappe (données BRGM), via la tranchée drainante, sont de l'ordre de **0.8 m³/s**.



Fond de la tranchée drainante au niveau de la vanne AMIL (Source : SAFEGE)



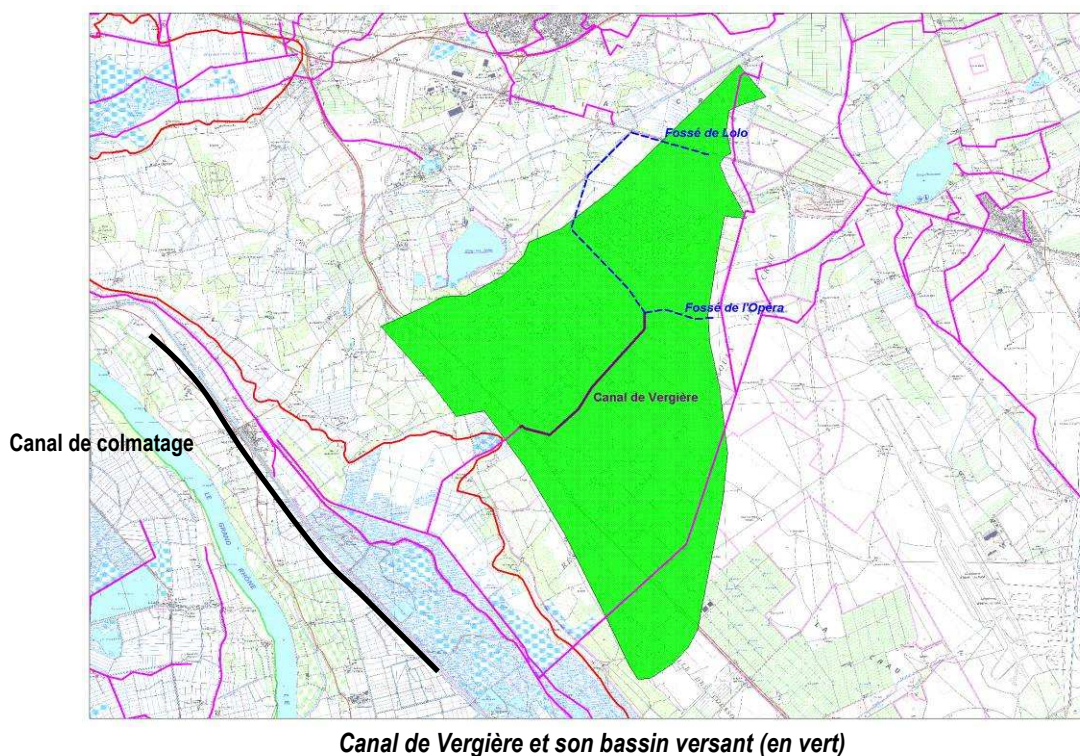
Localisation de la tranchée drainante du GPMM (Source : SAFEGE)

22.10.2 Canal de Vergière

Nota : un inventaire de l'ensemble des canaux de drainage n'a pu être réalisé à partir des données bibliographiques. Il convient donc de considérer le canal de Vergière comme un exemple des canaux de drainage existants.

Le canal de drainage de Vergière, géré par l'ASA d'assainissement du Centre Crau, présente un linéaire de l'ordre de 4.2 km. Raccordé au canal de Colmatage, il remonte vers la RN 568 qu'il traverse au sud de Vergière pour se diviser, au Sud de Baussenq, en deux parties :

- l'une vers l'Est (fossé de l'Opéra ou canal de Chauvet),
- l'autre vers l'Ouest (fossé de Lolo).



Canal de Vergière et son bassin versant (en vert)

Ce canal est en cela original qu'il collecte les eaux issues des fossés de la RN 568 avec un apport important de la nappe de la Crau. A noter par ailleurs qu'il traverse l'ancienne zone humide dite « marais de Baussenq ».

Le bassin versant qui lui est associé couvre une surface de l'ordre de 39.4 km² (Source : DDAF 13).

Aucun estimatif des pertes de la nappe au niveau de cet ouvrage hydraulique ne semble avoir été établi au vu de la littérature.

23 BILAN

La synthèse des données bibliographiques concernant les zones humides alimentées par la Crau amène plusieurs commentaires :

- absence de dénombrement et de repérage précis des sources ou laurons,
- estimation des débits incomplète (des débits de sources non renseignés, des valeurs de jaugeages anciennes),
- absence de détermination des faciès chimiques des eaux de sortie.

Sur cette base, il apparaît difficile de proposer un bilan strict des flux de sortie. Le tableau ci-dessous présente, pour comparaison, les chiffres retenus selon trois sources de données différentes.

	BRGM (simulation MARTCRAU)¹⁹	Présentation de colloque (M. SOLAGES, directeur régional du BRGM PACA)²⁰	Synthèse des données bibliographiques existantes
Exutoires naturels			
Sources résurgences et canal de Vigueirat	1.8 m ³ /s soit 56.76 Mm ³ /an	40 Mm ³ /an	1 m ³ /s (à 2 m ³ /s) soit 31.54 Mm ³ /an
Ecoulement souterrain aval (Camargue-Mer)	/	25 Mm ³ /an	1 m ³ /s soit 31.54 Mm ³ /an
Vallée de la Touloubre	0.05 m ³ /s soit 1.58 Mm ³ /an	/	0.05 m ³ /s (à 1 m ³ /s) soit 1.58 Mm ³ /an
Limite Est (sources de Grans)	/	/	1 m ³ /s soit 31.54 Mm ³ /an
Limite Nord (marais des Baux et fontaines de Mouriès)	0.3 m ³ /s soit 9.46 Mm ³ /an	/	1 m ³ /s soit 31.54 Mm ³ /an
Etangs d'Entressen et des Aulnes	0.14 m ³ /s soit 4.42 Mm ³ /an	38 Mm ³ /an	0.14 m ³ /s soit 4.42 Mm ³ /an
Débordements	1.3 m ³ /s soit 40 Mm ³ /an		
Exutoires artificiels			
Tranchée drainante de Fos	0.8 m ³ /s soit 25.23 Mm ³ /an	48 Mm ³ /an	0.8 m ³ /s soit 25.23 Mm ³ /an
TOTAL :	137.45 Mm³/an	151 Mm³/an	157.39 Mm³/an

¹⁹ « MARTCRAU : actualisation du modèle de la nappe de la Crau », BRGM 1995. Chiffres tirés du bilan moyen de la nappe établi par simulation en régime permanent, selon le modèle développé en 1992 par le BRGM et avec prise en compte des prélèvements à la nappe estimés cette même année

²⁰ Présentation de M. SOLAGES lors des « journées techniques agriculture et environnement » sur l'irrigation gravitaire (14-15 septembre 2000)

VI. CONCLUSIONS

En l'état actuel, l'hétérogénéité ou le manque de données rend impossible la réalisation d'un bilan « maîtrisé » des flux d'entrée et de sortie. De fait, le déséquilibre affiché entre les entrées et les sorties doit être considéré avec circonspection et être rapproché des observations faites en termes piézométrique (conservation apparente des niveaux piézométriques ces 40 dernières années). De manière générale, il paraît important d'améliorer la connaissance afin que puisse être précisées les conditions de recharge et décharge de la nappe.

Un point sur les volumes d'entrée et de sortie du système hydrogéologique de la nappe de Crau, est toutefois proposé en conclusion des paragraphes précédents.

***Rappel :** Ce travail ne repose sur aucune mesure in situ mais fait la synthèse des données bibliographiques existantes en l'état. Aussi la présentation de ce bilan a-t-il notamment pour objectif de mettre l'accent sur la qualité des données disponibles et sur l'enjeu que représentent la valorisation et l'acquisition de nouveaux éléments de connaissance.*

❖ **Piézométrie de la nappe :**

Les éléments bibliographiques analysés, ainsi que les enregistrements au niveau du piézomètre P29 tendent à montrer que la piézométrie de la nappe n'a pas majoritairement évolué. Est supposé en effet que cette nappe est en excès, au regard des apports par l'irrigation. Les années sèches 2003/2007 ne semblent pas avoir affecté les niveaux piézométriques du point P29. Cet évènement de surcroît n'apparaît pas comme exceptionnel eu égard des enregistrements précédents. Il faut toutefois se garder de généraliser cette observation à l'ensemble de la nappe. Ce qu'on peut dire, c'est que les apports importants de l'irrigation ont probablement tendance à tamponner les impacts des périodes sèches sur la nappe de la Crau.

En parallèle, les usages de l'eau de la nappe n'ont fait que s'accroître au cours des vingt dernières années au travers notamment d'un développement important de l'arboriculture et d'une augmentation du nombre de résidents sur la nappe de la Crau. Ces tendances doivent donc nous amener à suivre plus en détail l'évolution des niveaux de la nappe et disposer d'éléments mesurés attestant du bon équilibre entre les prélèvements et les apports à la nappe. Le développement du réseau piézométrique existant et de campagnes ponctuelles importantes pourraient permettre de répondre à ces ambitions. Ces dispositions devront toutefois être prises sur des cycles de mesure importants, au moins dix années, afin de dégager de véritables tendances.

❖ **Bilan des volumes d'eau moyens annuels en entrée :**

1) **apports par la pluie** = **50 Mm³** (répartition sur la période d'octobre à mars) – Dans le cadre des modélisations réalisées sous MARTCRAU, des volumes de **56,80 m³** ont été retenus par le BRGM sur la base des hypothèses de calcul de 1982. Les calculs effectués sous GARDENIA qui définissaient en moyenne un apport de 63 mm soit environ 34 Mm³, n'ont visiblement pas été conservés.

2) apports d'eau excédentaire par les **réseaux d'irrigation et d'assainissement** = ceux-ci ont été estimés entre **100 et 170 Millions m³/an** selon les hypothèses et modes opératoires pris en compte, soit une valeur moyenne de **135 Mm³/an ± 25%** - Pour comparaison des ces ordres de grandeur, les chiffres avancés par le BRGM sont :

- modèle MARTCRAU : environ **116.68 Mm³/an**
- présentation de M. SOLAGES (colloque 2004 sur l'irrigation) : **117 Mm³/an**.

3) apports d'**entrées naturelles** (dans la partie Nord principalement) = aucune estimation des volumes d'apport n'a pu être réalisée dans le cadre de ce travail. Le modèle MARTCRAU fournissait un chiffre de **22.10 Mm³**, chiffre déduit des autres données entrantes, considérant que le bilan hydrique était équilibré (« entrées » = « sorties »).

❖ Bilan des volumes d'eau moyens annuels en sortie :

1) les **prélèvements pour l'AEP, l'AEI et l'AEA** = à partir des éléments mobilisés sur la période 2003-2006, les volumes moyens annuels prélevés sont estimés à **69 Mm³**.

Dans le cadre de la mise en œuvre du modèle MARTCRAU, **une valeur de 41 Mm³ avait été évaluée en 1984**.

2) les **exutoires naturels** (lignes de sources – plans d'eau) et artificiels (tranchée drainante de Fos) = l'exploitation des données bibliographiques aboutit à proposer un volume moyen de sortie de **157,39 Mm³**. A titre comparatif, les volumes avancés par le BRGM :

- modèle MARTCRAU : **137.45 Mm³/an**
- présentation de M. SOLAGES (colloque 2004 sur l'irrigation) : **151 Mm³/an**.

❖ Pistes de réflexions :

Au vu des chiffres rappelés ci-dessus, la recharge de la nappe de la Crau apparaît sous dépendance directe des pratiques culturales cravennes avec une répartition 1/3 – 2/3 pour les apports par la pluie et par l'irrigation.

Sur ce point, les quelques pistes de réflexion suivantes :

1/ Irrigation : une analyse spécifique sur la thématique irrigation est inévitable, l'irrigation représentant « le plus grand donneur d'eau à la nappe ». A cet effet, la démarche retenue devra notamment permettre de diminuer les marges d'incertitude quant aux volumes d'eau mobilisés et aux surfaces réellement irriguées.

2/ Pluviométrie : afin de valider les apports par la pluie, une modélisation sous GARDENIA à partir d'ouvrages de suivi situés hors influence des irrigations et des pompages et pour lesquels des chroniques piézométriques suffisamment longues sont disponibles, est recommandée.

3/ Entrées naturelles NE : les flux Nord-Est ont été évalués à partir du modèle MARTCRAU, selon l'hypothèse d'une conservation des volumes « entrée/sortie ». Les chiffres avancés qui apparaissent faibles comparativement aux ordres de grandeurs des autres types d'apport, nécessiteraient d'être confirmés via la réalisation de campagnes de repérage et de jaugeage des différentes sources identifiées à la base des calcaires et des colluvions (massif de Vernègues).

4/ Prélèvements : afin de dégager les tendances évolutives en termes de sollicitation à la nappe, une démarche spécifique sur les prélèvements doit être menée afin d'alimenter une base de données évolutive sous SIG. A ce titre, les bases de données établies dans le cadre de la présente étude pourraient servir de support à une actualisation et à une intégration périodique des métadonnées.

5/ Sorties naturelles : des campagnes de repérage et de jaugeage pourraient être envisagées afin de valider les volumes des sorties naturelles.

6/ Piézométrie : en l'état, il est difficile de se prononcer quant au comportement de la nappe sur le plan piézométrique (tendance évolutive). La faible densité des points de contrôle ne permet pas en effet l'établissement de cartes piézométriques suffisamment précises pour permettre une comparaison avec celle élaborée par le BRGM en 1967, voire pour mettre en évidence des secteurs montrant une inflexion des niveaux d'eau d'année en année.

VII. ANNEXES

ANNEXE 1 : Diagrammes de comparaison des données piézométriques acquises au droit des ouvrages DIREN et des ouvrages BRMG de remplacement

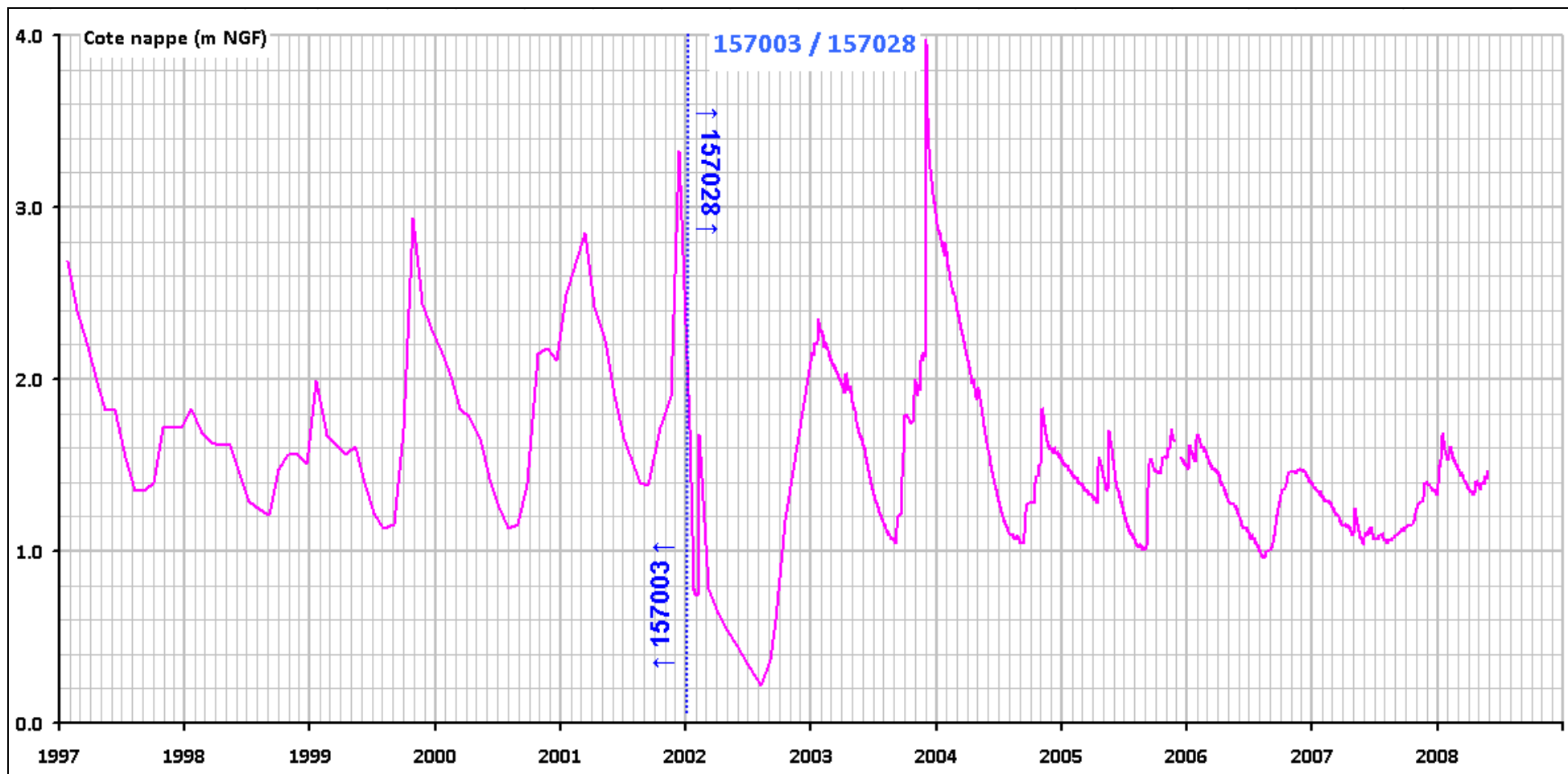
ANNEXE 2 : Analyse des apports par la pluviométrie – Exploitation du logiciel Gardenia

ANNEXE 3 : Données brutes d'irrigation – Evolution des volumes d'eau fournis pour l'irrigation de la plaine de Crau sur la période 1997-2007 (*Source : CED*)

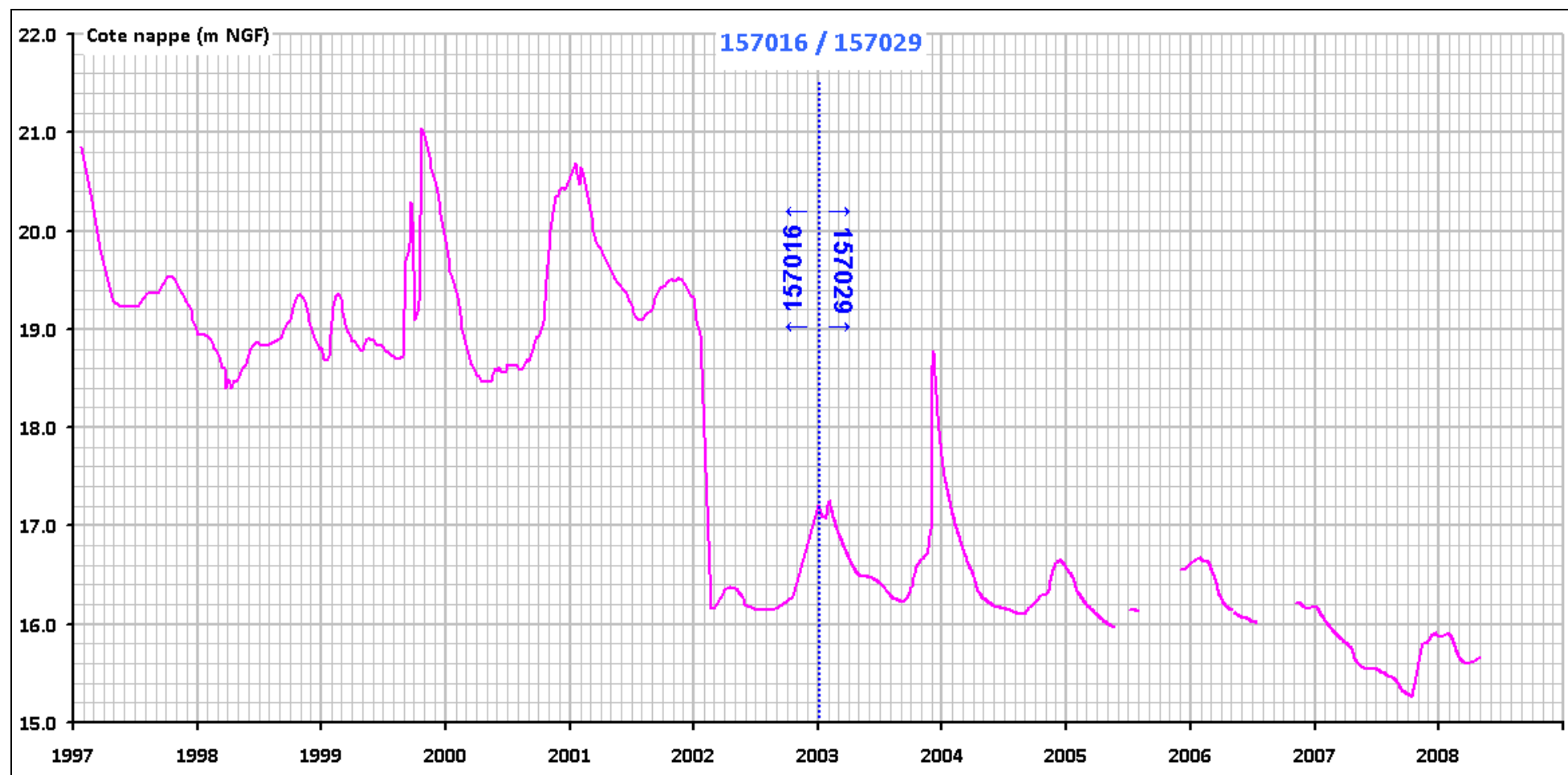
ANNEXE 4 : Méthodologies d'évaluation des apports à la nappe via l'irrigation

ANNEXE 1 :

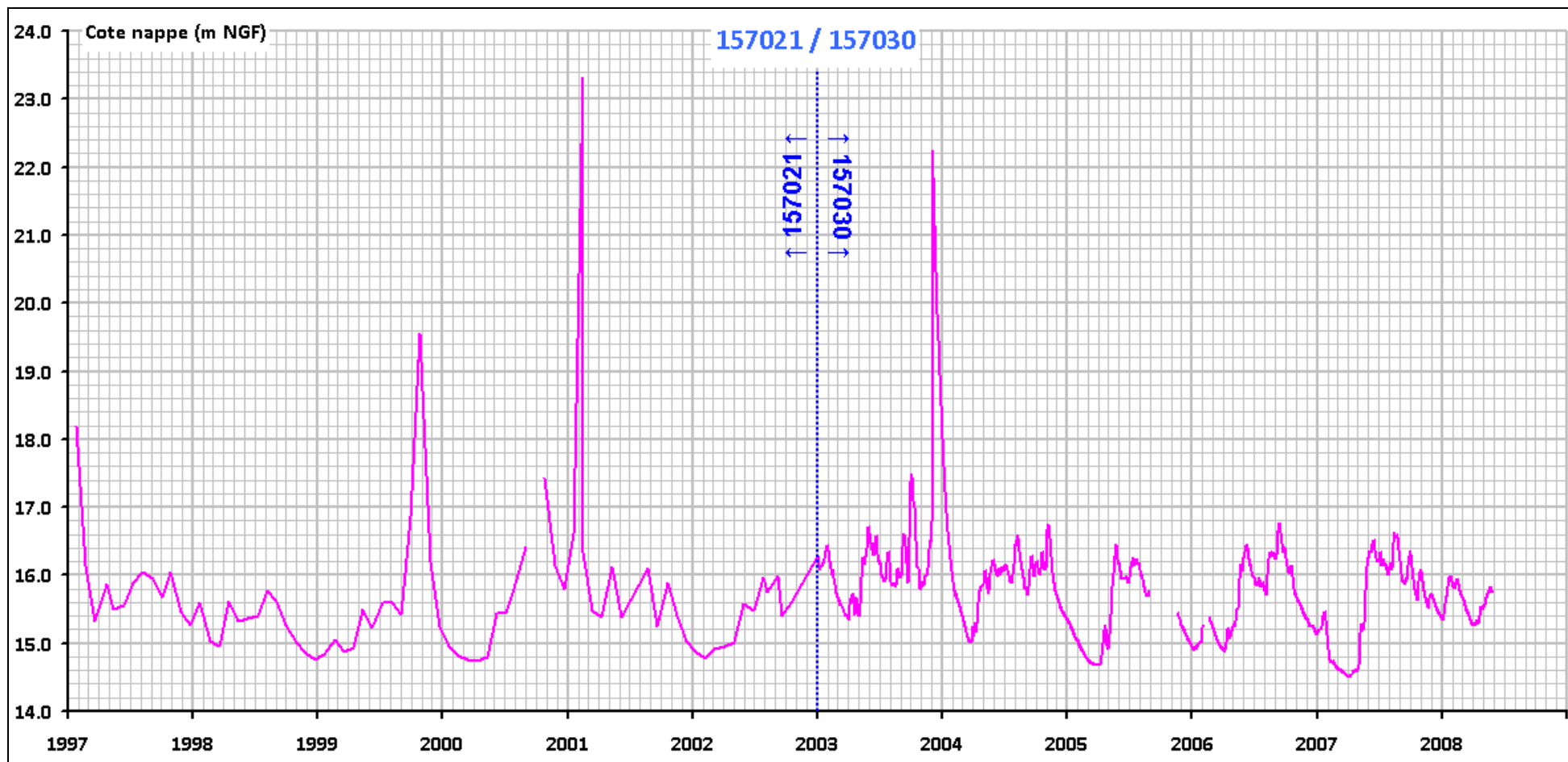
Diagrammes de comparaison des données piézométriques acquises
au droit des ouvrages DIREN et des ouvrages BRGM de remplacement



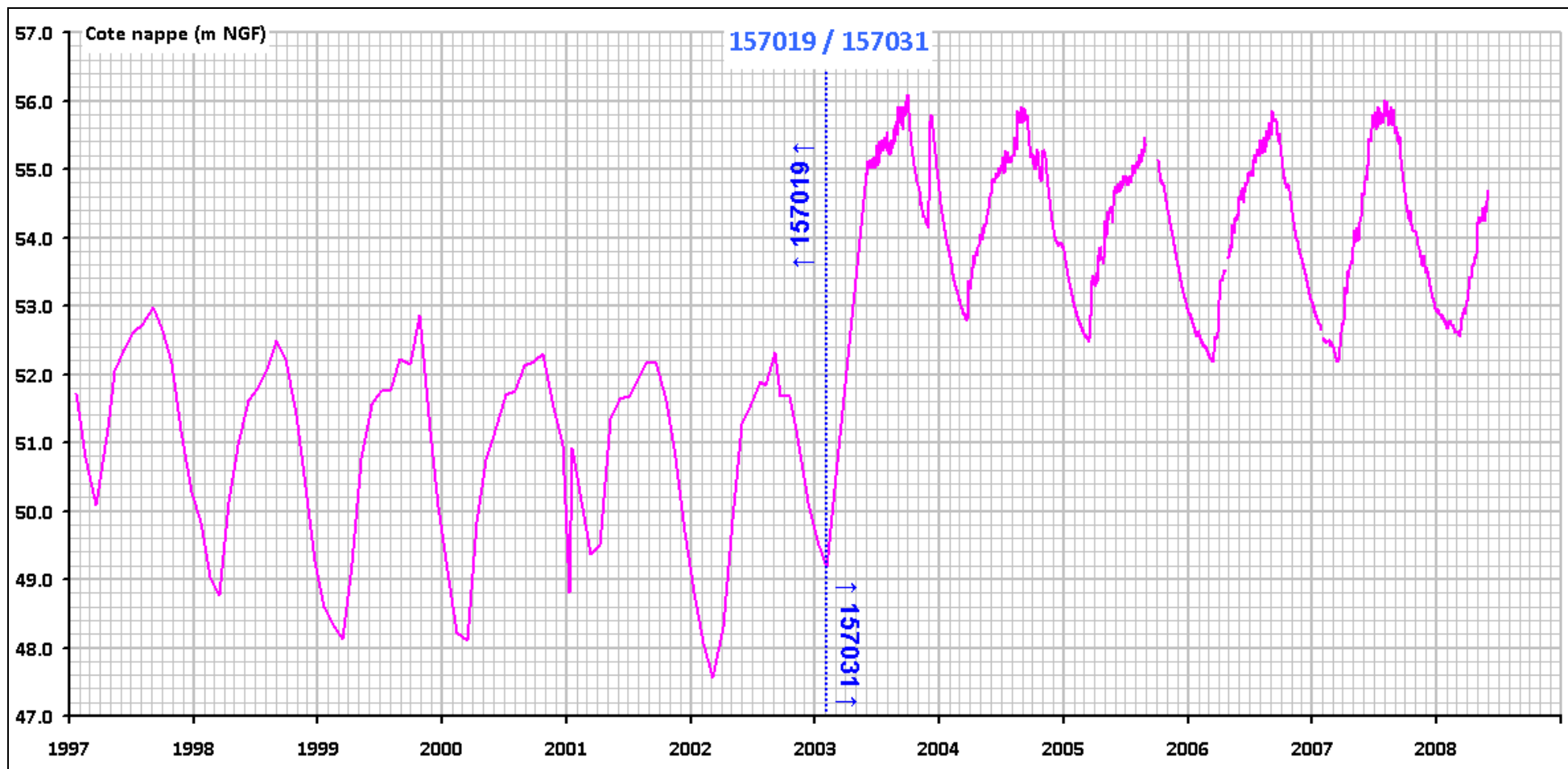
Evolution piézométrique 1997-2007 – Ouvrage DIREN (157003) / Ouvrage BRGM (157028)



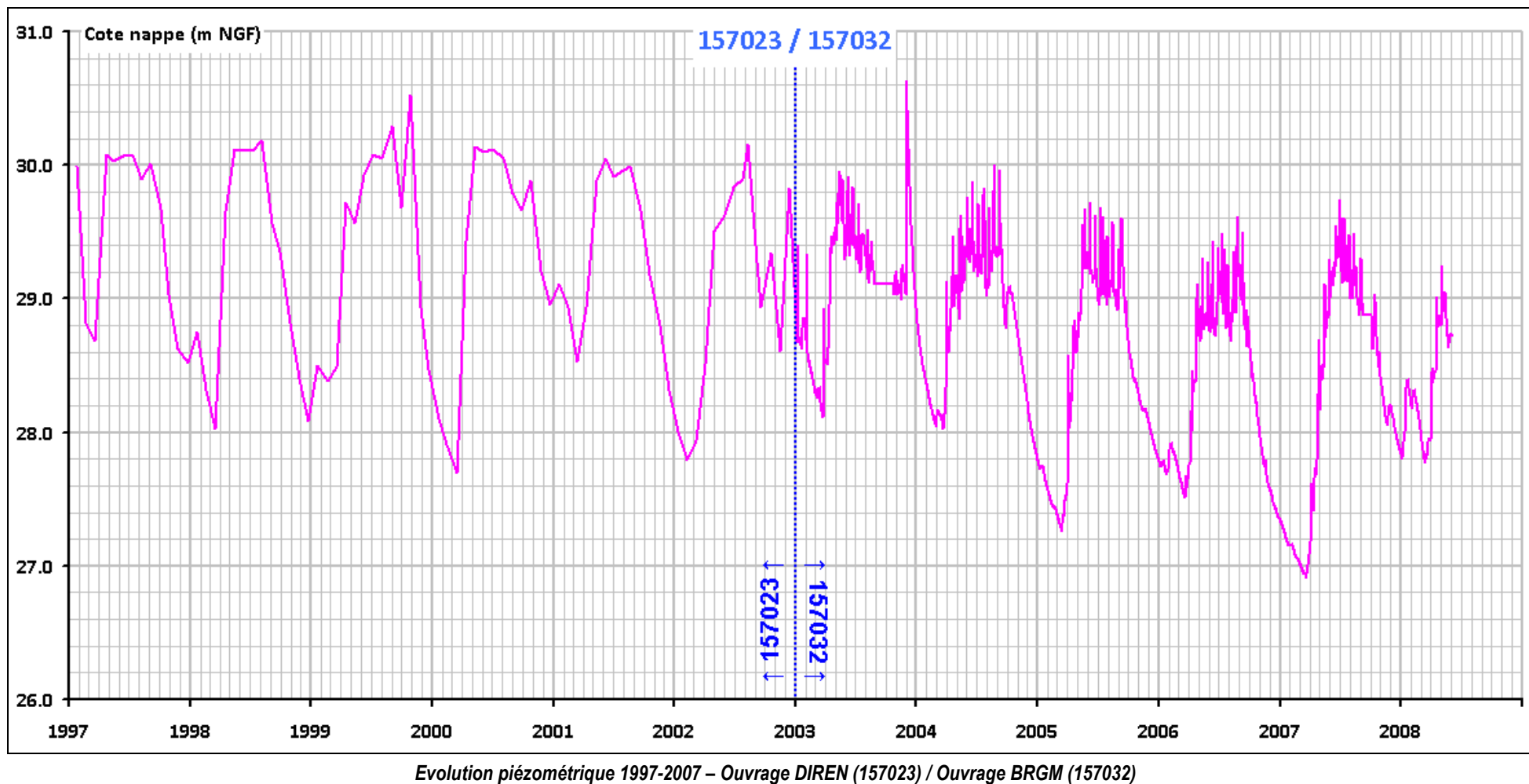
Evolution piézométrique 1997-2007 – Ouvrage DIREN (157016) / Ouvrage BRGM (157029)

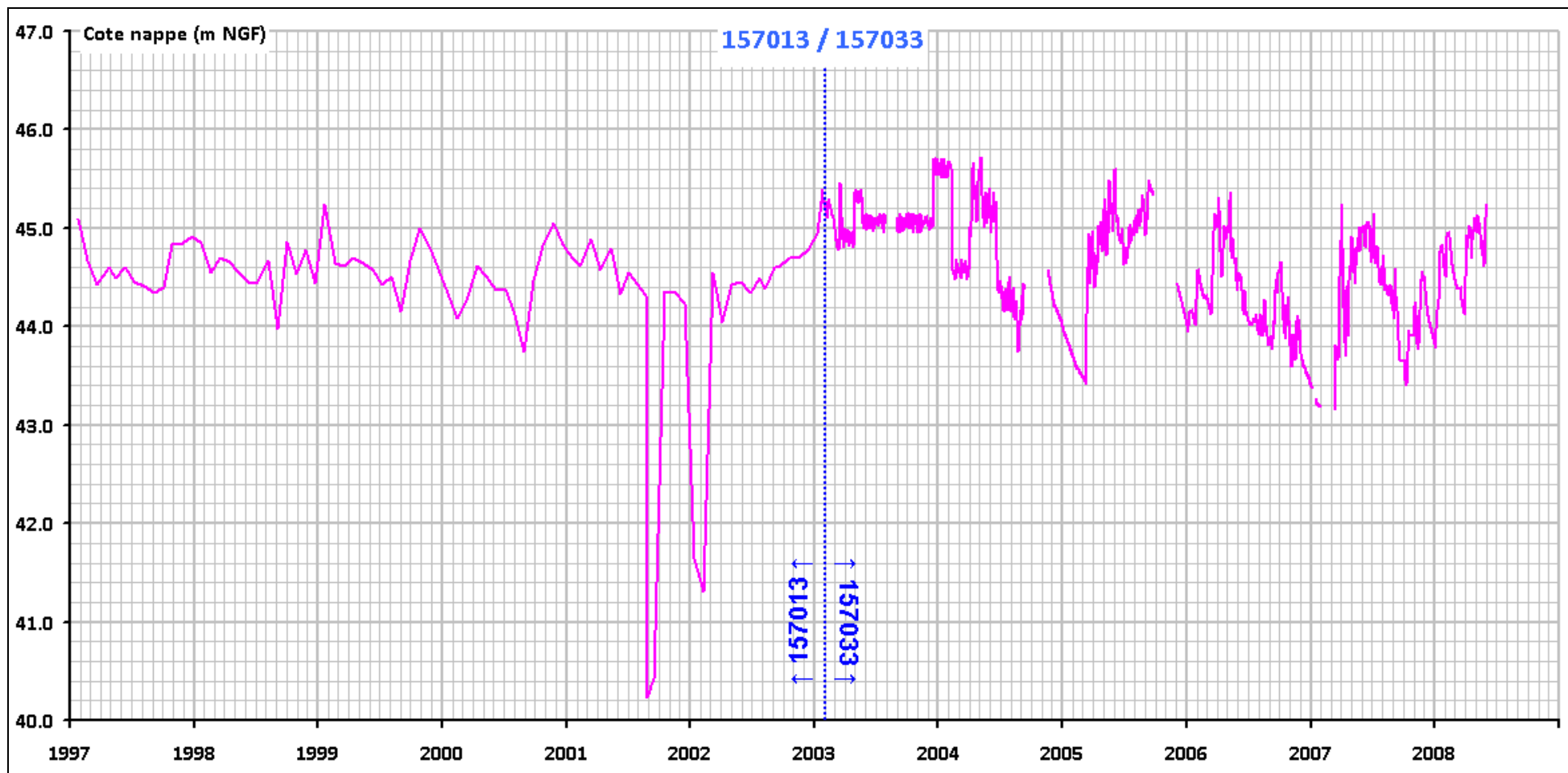


Evolution piézométrique 1997-2007 – Ouvrage DIREN (157021) / Ouvrage BRGM (157030)



Evolution piézométrique 1997-2007 – Ouvrage DIREN (157019) / Ouvrage BRGM (157031)





Evolution piézométrique 1997-2007 – Ouvrage DIREN (157013) / Ouvrage BRGM (157033)

ANNEXE 2 :

Analyse des apports par la pluviométrie – Exploitation du logiciel Gardenia

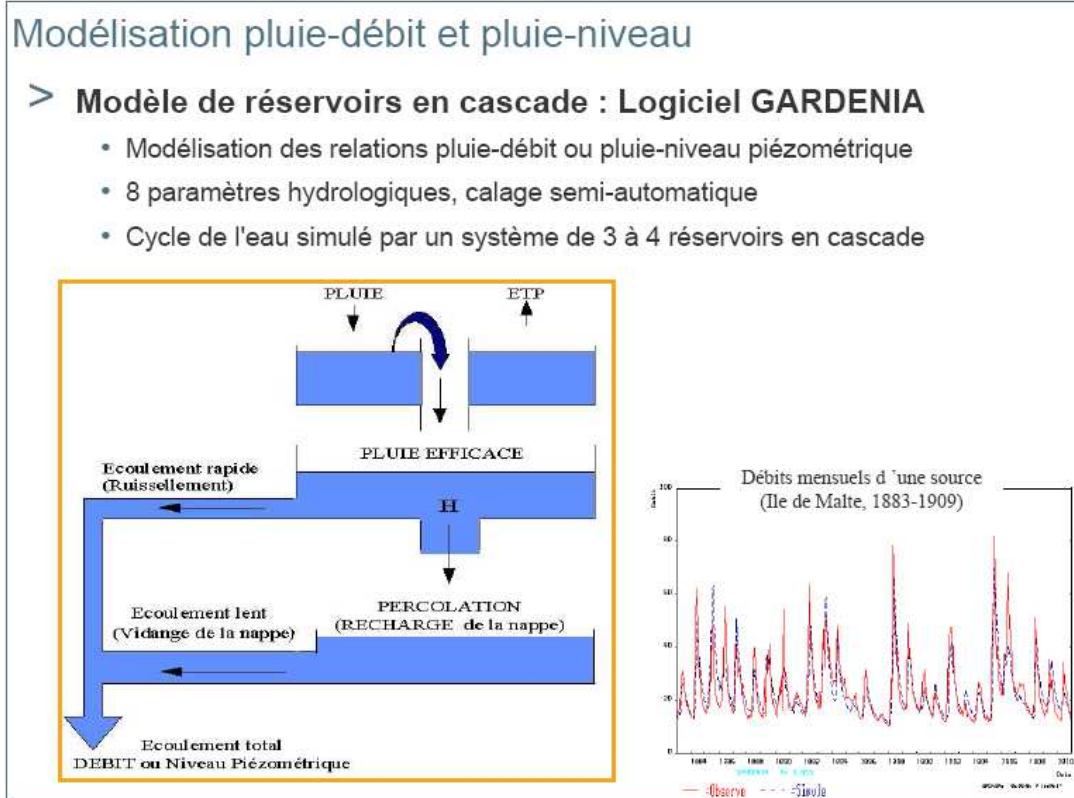
Cadre méthodologique

A partir des données météorologiques (ETP : évapotranspiration potentielle – P : pluie), l'ETR (évapotranspiration réelle) ainsi que la pluie efficace seront déterminés, afin d'estimer les apports de la pluviométrie à la nappe via l'utilisation du logiciel **GARDENIA** conçu et commercialisé par le BRGM. Ce logiciel, qui sert à construire des modèles globaux, met en relation un signal d'entrée (la pluie) et un signal de sortie (un niveau de cours d'eau ou de source).

Le calage du modèle implique :

- la prise en compte des variations piézométriques d'un ouvrage de suivi de la nappe, situé hors influence des irrigations sur 10 ans (1997-2007) ;
- la détermination d'un coefficient de répartition de l'eau entre ruissellement et infiltration ;
- la fixation arbitraire d'une valeur pour la réserve superficielle du sol en eau.

La modélisation portera sur une période d'une quinzaine d'années. Les cinq premières années servent classiquement de période de démarrage et les dix dernières années seront exploitées avec des paramètres fixes.



Principe de fonctionnement d'une nappe sous GARDENIA (Source : BRGM)

Quelques rappels et définitions :

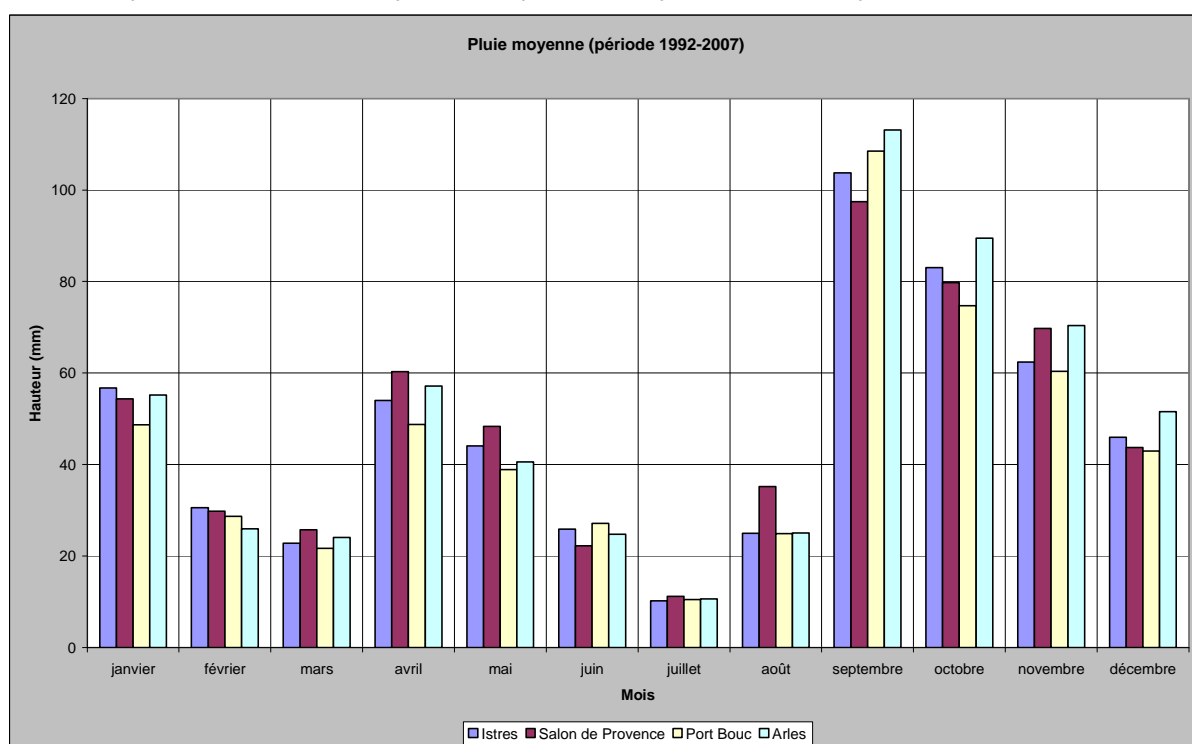
- 1) ETP : L'évapotranspiration potentielle (notée par la suite Etp) est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.
- 2) ETR : On appelle évapotranspiration réelle (notée par la suite Etr), la quantité d'eau, généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

Les moyennes pluviométriques mensuelles et les tendances annuelles montrent que la pluviométrie est globalement homogène :

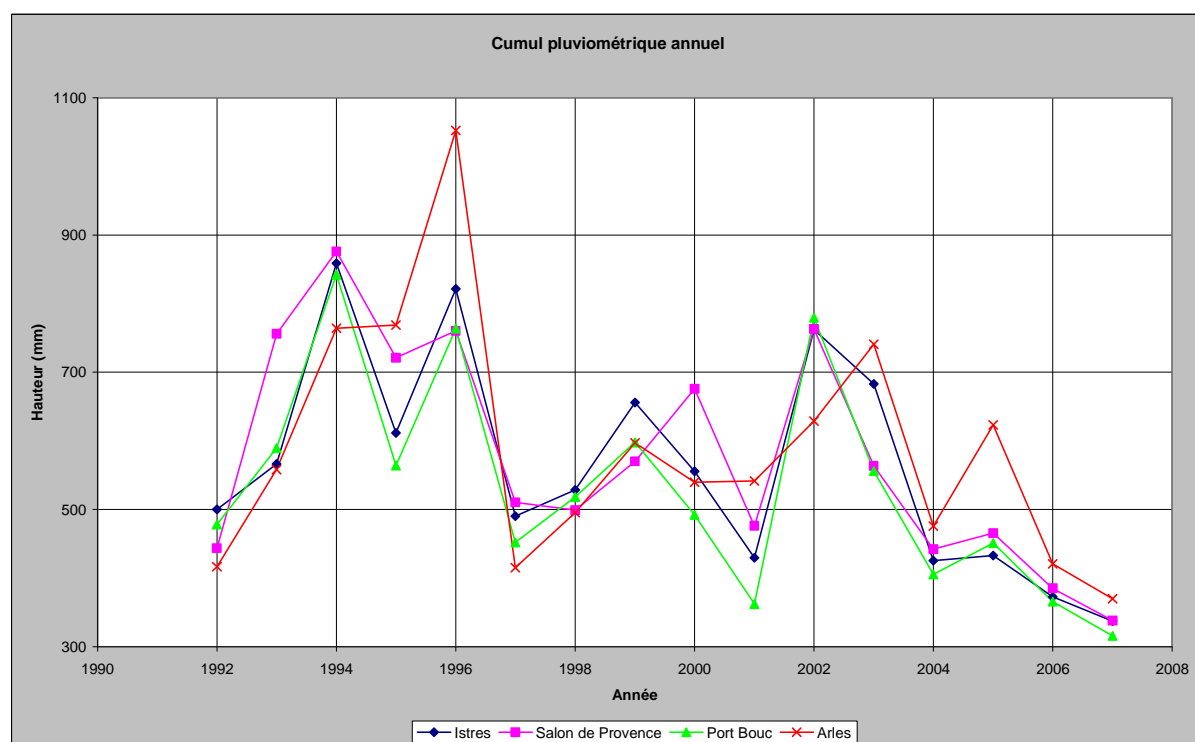
- Moyennes mensuelles assez proches,
- Tendances des cumuls pluviométriques annuels similaires – les enregistrements annuels à Arles sont globalement plus marqués.

La hauteur moyenne annuelle des pluies est estimée à 550 mm. Le régime annuel des pluies se caractérise par quatre périodes :

- Janvier à Mai = période de pluviosité moyenne,
- Juin – Août = période de pluviosité faible,
- Septembre – Décembre = période de pluviosité importante avec les plus forts cumuls durant l'automne.

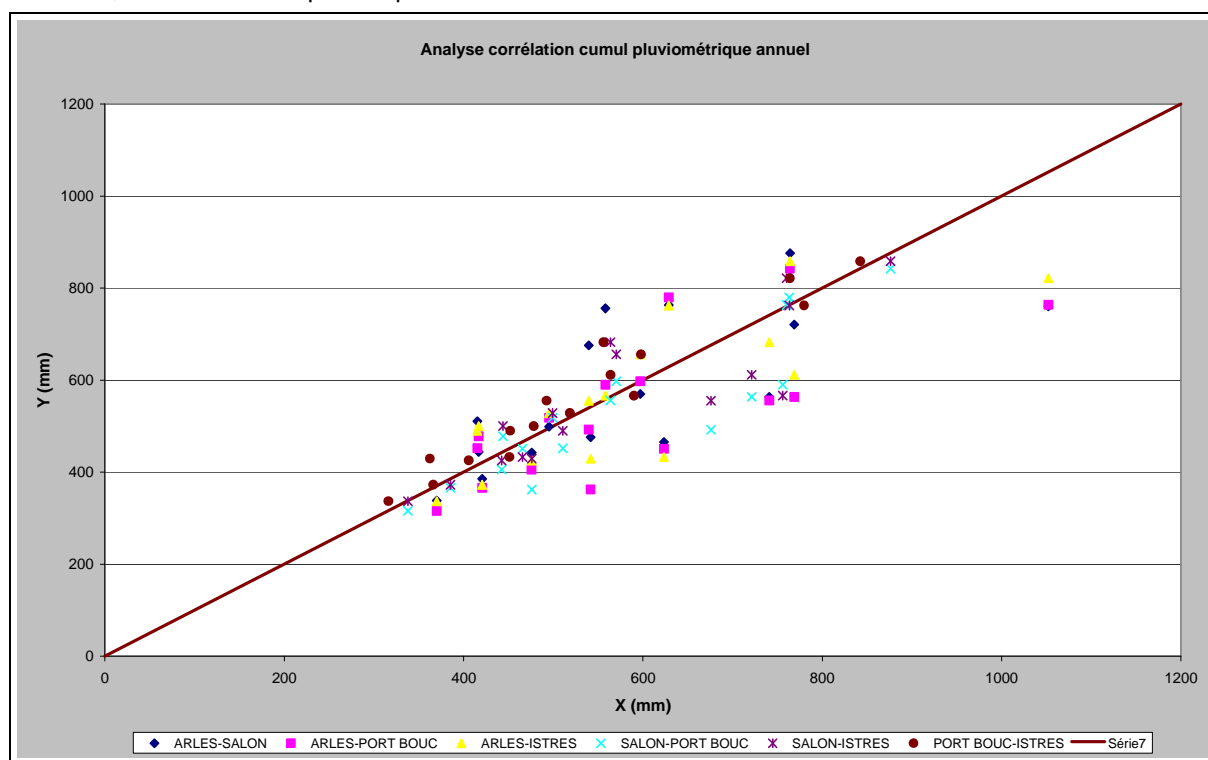


Pluviométrie mensuelle moyenne (1992-2007)



Cumul pluviométrique annuel

Afin d'analyser les éventuels effets de site, sur les cumuls pluviométriques annuels, une analyse corrélative entre les quatre stations pluviométriques retenus est effectuée. On compare par couples de deux stations leur cumul annuel et le niveau de dispersion des points par rapport à la médiane permet de statuer sur la plus ou moins bonne corrélation des stations entre elles. Pour le site d'étude, les points sont relativement proches de la médiane ; on considérera que les quatre stations sont correctement corrélées.

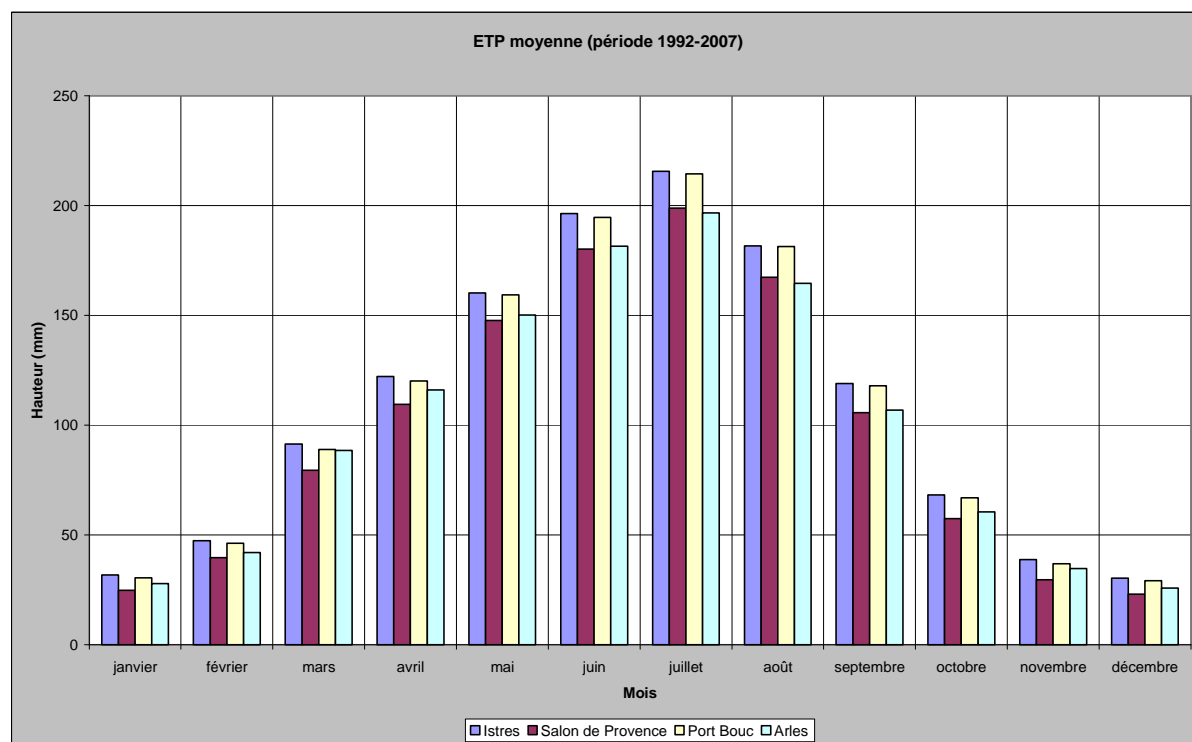


Analyse corrélatrice entre les quatre stations

4) Données d'évapotranspiration potentielle (ETP)

Ce paramètre joue un rôle important dans la quantité et la répartition des pluies qui alimentent réellement les nappes d'eau souterraines. Il existe de nombreuses formules empiriques permettant de faire des approximations de l'EvapoTranspiration Potentielle et de l'EvapoTranspiration Réelle (Turc, Thomthwaite,...).

Des valeurs mensuelles ont pu être obtenues auprès de Météo France. Ces valeurs sont calculées par la méthode de Penman-Monteith qui fait intervenir différentes variables correspondant à des valeurs moyennes journalières.



Le climat de la Crau est méditerranéen avec influence marquée d'un vent dominant (NW – NNW), le mistral, asséchant de fait les terres et rendant nécessaire en été un plus grand apport d'eau.

Le pic d'ETP est naturellement atteint sur la période estivale. La tendance semi-aride du climat est très marquée et les périodes estivales de sécheresse sont caractérisées par un déficit hydrique, l'apport d'eau étant nettement inférieur à l'évapotranspiration.

Analyse du piézomètre P29 Istres – Exploitation du modèle GARDENIA

1) Données d'entrée

Afin de pouvoir travailler à partir d'un seul jeu de donnée à l'échelle de l'entité Nappe de la Crau, les données de pluviométrique et d'évapotranspiration mensuelles ont été moyennées en appliquant la méthode de Thiessen.

Principes de la méthode de Thiessen – source : ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE – J.P. LABORDE :

Cette méthode, basée uniquement sur les pluies observées aux pluviomètres, consiste à supposer que la fonction $P(x, y)$ varie discrètement. Pour cela, sur tout élément de surface $dx dy$, on admet que $P(x, y)$ est égal à la valeur enregistrée au poste le plus proche.

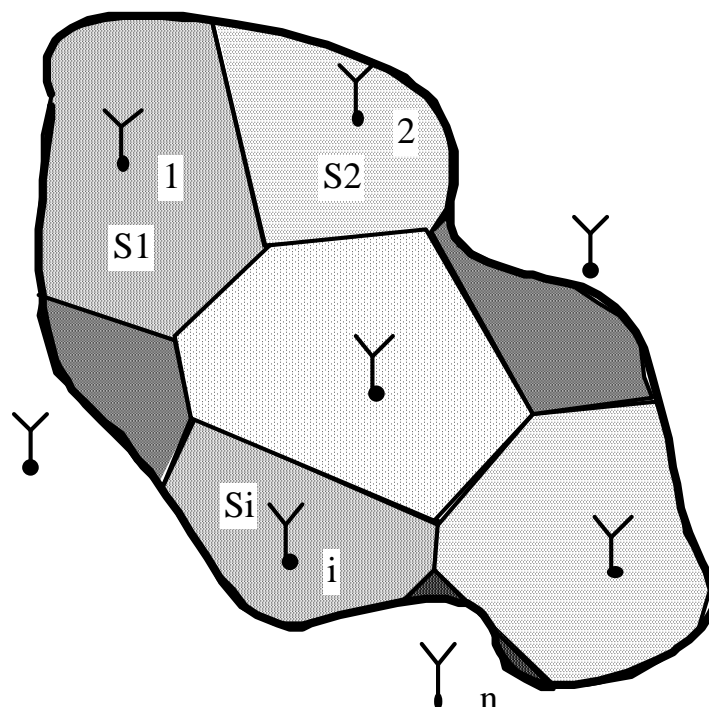
Comme le suggère la figure ci-contre, les éléments de surface plus proches d'un pluviomètre que de tout autre, sont déterminés par le réseau des médiatrices des segments joignant les postes 2 à 2..

Dans cette hypothèse, la pluie moyenne s'exprime ainsi :

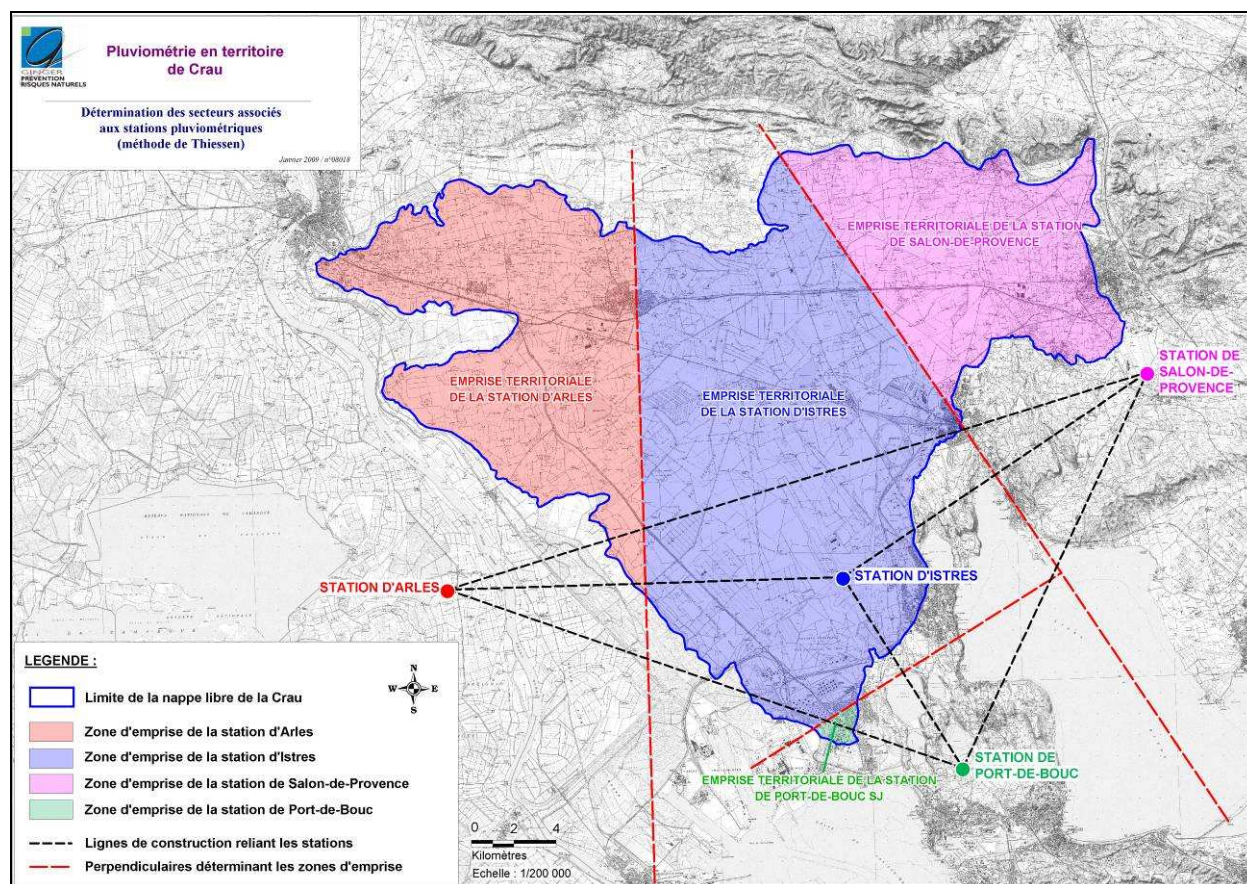
$$\bar{P}_{BV} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i$$

avec

$$\alpha_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$



On remarque alors que les termes α_i appelés coefficients de Thiessen ne dépendent que de la répartition spatiale des postes par rapport au bassin versant. Ils ne dépendent pas de la pluie, donc la construction géométrique est à faire une fois pour toutes et on appliquera α_i à toutes les averses à étudier.



Pondération des postes pluviométriques par la méthode de Thiessen

2) Exploitation de GARDENIA

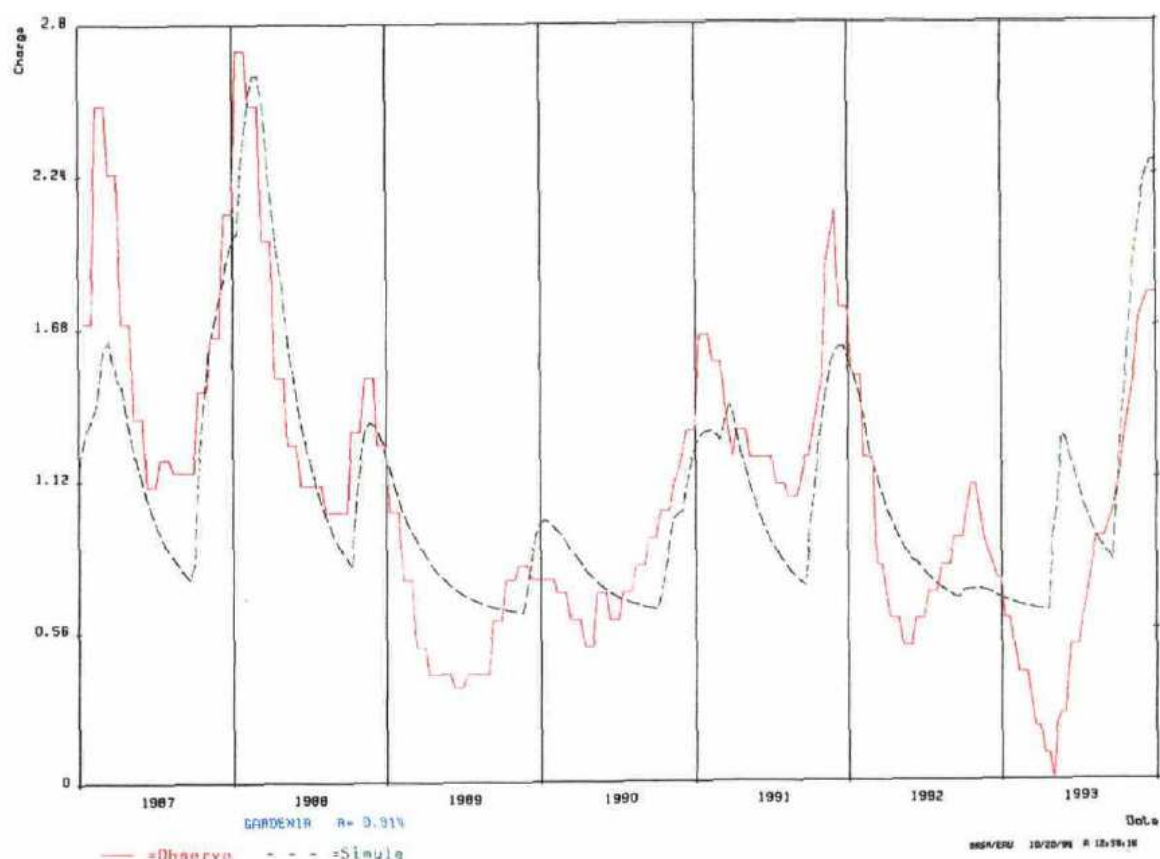
Choix a été fait de conserver le piézomètre 29 d'Istres pour évaluer les apports à la nappe de la Crau :

- Piézomètre peu influencé par l'irrigation,
- Piézomètre disposant de donnée jusqu'en 2005.

a) Résultats MARTCRAU

Dans le cadre de la mise en œuvre du modèle MARTCRAU, le logiciel GARDENIA (modélisation hydrologique globale) avait 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 avait été choisi parce qu'étant éloigné des zones d'irrigation, il a été considéré comme réagissant essentiellement aux pluies. La simulation avait été faite sur la période de janvier 1987 à décembre 1993.

Les valeurs mensuelles de recharge ainsi calculées par le BRGM et introduites dans 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. Le coefficient de corrélation globale obtenu était de 0.814 (cf. graphique ci-dessous).



Comparaison séries simulées – séries observées / modélisation MARTCRAU

b) Démarrage du système sur la période 1992-1997– Exploitation sur la période 1997-2007

Une démarche similaire a été menée afin d'étendre les travaux réalisés jusqu'en 2007. Pour ce faire, une procédure de démarrage a été mise en place sur la période 1992-1997 afin d'obtenir une stabilisation du système. En effet, le niveau calculé en débit de modélisation dépend des données climatiques précédentes. Ainsi, a été considéré qu'une période de 5 années de démarrage permettait de calculer correctement les niveaux de la nappe.

Dans le cadre du précédent calage sous GARDENIA, les opérateurs du BRGM avaient fixé une capacité du réservoir superficiel autour de 30 mm. Cette valeur est trop faible au regard des données bibliographiques disponibles (recherches agronomiques en Crau), aussi a-t-il été décidé de fixer ce paramètre entre 60 et 70 mm. Le coefficient d'emmagasinement est également utilisé dans le cadre du calage du système.

Des valeurs de $5 \cdot 10^{-2}$ ont été retenues (ces valeurs sont comprises entre 10^{-2} et $6.5 \cdot 10^{-2}$ selon la littérature sur le secteur d'étude). Globalement, il semble difficile de proposer une représentation parfaite du système. Les séries observées présentent des décrochages qu'il est difficile de représenter ; GARDENIA ne permettant toutefois que de représenter des allures moyennes, en modélisant des phénomènes de grande longueur d'onde.

ANNEXE 3 :

Données brutes d'irrigation – Evolution des volumes d'eau fournis pour
l'irrigation de la plaine de Crau sur la période 1997-2007
(*Source : CED*)

Données de suivi EdF

CANAL de Boisgelin craponne

Extraits des bilans CED

Volumes mensuels délivrés en millions de m3

Exemple pour le bilan 1997 : période d'octobre 1996 à sept 1997

Mois	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007

10	18.213	20.088	18.146	10.848	11.919	10.178	13.794	11.12	18.35	25.71	12.11
11	9.007	5.573	9.746	5.391	6.221	6.48	5.314	6.48	4.77	4.99	5.44
12	4.071	2.25	5.558	11.651	2.411	2.678	1.607	0.75	3.75	3.21	2.41
1	0.134	0	0	0.589	0	0.201	0	0	0	1.07	0.00
2	4.959	6.048	5.262	5.262	3.871	4.657	1.21	1.88	4.03	1.45	1.21
3	47.193	48.265	38.234	56.581	14.664	28.659	34.23	34.82	51.16	33.21	46.47
4	70.502	52.618	65.578	49.766	62.726	66.511	55.21	67.78	58.19	57.54	59.88
5	68.969	64.549	65.299	56.461	64.282	56.246	81.356	66.83	74.73	69.37	64.28
6	69.777	83.203	81.778	80.741	81.518	70.762	82.529	81.91	72.19	81.19	78.41
7	85.173	86.111	84.504	85.387	87.852	84.1	84.37	84.8	83.7	84.1	84.02
8	84.236	83.834	73.817	81.222	87.852	71.781	80.084	75.05	76.12	78.74	71.65
9	65.837	38.297	29.549	50.479	68.818	23.846	39.709	56.89	27.02	34.6	33.89

Chronique des volumes d'irrigation fournis au réseau de la Crau – Suivi EDF 1997-2007 (Source : CED)

ANNEXE 4 :

Méthodologies d'évaluation des apports à la nappe via l'irrigation

Méthode n°1 basée sur les surfaces irriguées

La première méthode proposée pour rendre compte des apports à la nappe via l'irrigation, se décompose en deux étapes, la première devant aboutir à une cartographie des espaces agricoles irrigués par submersion, la seconde à une évaluation des volumes excédentaires permettant le soutien de la nappe.

Ont été considérées comme retournant à la nappe les eaux infiltrées au niveau des canaux des ASA et les eaux infiltrées au niveau des parcelles de foin. (Dans le cadre de ces investigations, ne disposant pas d'évaluation sur les parcelles en arboriculture ou en maraîchage concernées par des irrigations par submersion, seules les parcelles de foin de Crau ont été considérées comme réalimentant la nappe – ces travaux pourront être complétés lors d'une meilleure connaissance de ces surfaces irriguées complémentaires).

A cet effet, il convient donc :

- de connaître les volumes entrés (volumes d'eau fournis),
- de déterminer la part d'eau fourni aux parcelles irriguées, mais non utilisée par les plantes (sur la base d'une consommation théorique en eau des plantes),
- d'estimer le volume total restitué au milieu par collature (rejet de fin de réseau),
- d'estimer la part d'eau s'infiltrant dans la nappe.

1) Cadre méthodologique

1.1) Cartographie des espaces agricoles

Cette première étape doit permettre, sur la base d'une cartographie actualisée et détaillée de l'occupation des sols (distinguant notamment les activités agricoles par typologie de cultures) :

- d'une part, d'apprécier la répartition des cultures irriguées en termes de surface (cf. tableau d'exemple ci-dessous),
- d'autre part, de différencier les parcelles agricoles irriguées selon les techniques d'irrigation utilisées :
 - **gravitaire** (submersion ; majoritaire en surface sur le périmètre d'étude),
 - **sous-pression** (aspersion et goutte à goutte).

	Superficie (ha)	%
Foin de Crau	822	50
Blé	68	4
Oliviers	227	14
Maraîchage	250	15
Vignes	193	11.9
Fruitiers	3	0.1
Jardins	86	5
TOTAL	1 649	100

*Exemple de répartition des cultures (2007) – Canal d'irrigation de la Haute Crau
(Source : HYDROSOL Ingénierie)*

1.2) Evaluation des volumes d'eau excédentaires permettant le soutien de la nappe

L'évaluation des volumes d'eau excédentaires permettant le soutien de la nappe suppose plusieurs phases calculatoires mais également de récolte et traitement de données.

a) Volumes infiltrés au niveau des canaux

Des essais réalisés sur le domaine du Merle estime qu'environ 11 % des eaux prélevées sur le canal de la Durance s'infiltreront vers la nappe. Ce chiffre inclut les infiltrations au niveau des canaux des ASA et également les canaux d'irrigation de l'exploitant.

b) Volumes fournis aux parcelles

Dans le cas précis de la Crau, le site agronomique expérimental du Domaine du Merle situé dans la plaine de Crau, avance une fourchette de *consommation annuelle en eau*²¹, pour l'irrigation d'un hectare de foin de Crau, comprise entre 20 000 et 25 000 m³. Les chiffres qui varient notamment en fonction des caractéristiques agronomiques (perméabilité du sol), topographiques (dénivelé) et dimensionnelles (taille) des terrains agricoles, peuvent s'étaler de 15 000 à 45 000 m³/ha/an.

Nota :

Se basant sur les débits apportés à chaque parcelle (en l/s) irriguée, la périodicité et la saison des arrosages selon le type de culture considéré, les chiffres de consommation moyens suivants (*Source : HYDROSOL Ingénierie*) ont été retenus pour le cas de l'ASA du canal de la Haute Crau :

	Volume d'eau fourni aux parcelles (m ³ /ha/an)	
	Irrigation gravitaire	Irrigation goutte à goutte
Foin de Crau	20 400	/
Blé	10 200	/
Oliviers	20 400	2 955
Fruitiers	20 400	5 040
Maraîchage	/	3 600
Vignes	/	728

Le volume total d'eau fourni aux parcelles, selon le type de culture et d'irrigation, est ensuite calculé en prenant en compte :

- les volumes moyens fournis aux parcelles cultivées
- les superficies totales de parcelles.

c) Part consommée par les plantes

Deux modes calculatoires, présentés ci-dessous, peuvent être pris en référence pour le calcul de la consommation par les plantes.

²¹ La consommation annuelle en eau traduit le volume d'eau délivré à la parcelle. Il ne faut donc pas confondre cette appellation avec la consommation réelle de la plante (ou besoins cultureux).

❖ **Mode calculatoire n°1 :**

La procédure la plus simple consiste à considérer le ratio moyen d'eau utile à la plante. Ce ratio, dans le cas du territoire de la Crau a été évalué à **20%**.

❖ **Mode calculatoire n°2 :**

Les besoins théoriques des plantes peuvent également être appréciés sur la base de la relation mathématique suivante :

$$Be = (ETP \times Kc) - Pe$$

Avec :

ETP : évapotranspiration

Kc : coefficients culturaux

Pe : précipitations efficaces

	avril	mai	juin	juillet	août	septembre
Foin de Crau	0.5	0.6	0.9	1	0.7	/
Blé	1.15	1	0.7	/	/	/
Oliviers	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8
Maraîchage	0.2	0.5	0.8	0.7	0.5	0.3
Fruitiers	0.6	0.7	0.8	1	0.8	0.6
Vignes	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0

Exemple de coefficients culturaux (Kc) – Baux de Provence (Source : CIRAME)

Remarque :

Les besoins en eau des jardins peuvent être estimés équivalents à ceux des parcelles maraîchères en première approche.

Les besoins culturaux moyens, proposés par la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône, sont de l'ordre de :

- 5 800 m³/ha/an pour le foin de Crau,
- 2 500 m³/ha/an pour le blé,
- 2463 m³/ha/an pour les oliviers,
- 3 000 m³/ha/an pour le maraîchage,
- 4 200 m³/ha/an pour les fruitiers,
- 607 m³/ha/an pour les vignes.

Remarques :

Les données d'ETP et de pluie sont directement récupérables auprès de Météo France.

Les valeurs de la pluie efficace, estimées égales à 50% des précipitations (Source : DDAF 1991), peuvent être calculées à partir des méthodes de Turc ou de Thornwaite.

d) Volumes de rejet en collature

Les volumes d'eaux fournies aux parcelles sont en partie évacués par les réseaux de collature. On estime environ à 20 % ces pertes au niveau des parcelles de foin.

e) Bilan hydraulique

Les différentes étapes décrites ci-dessus permettent, en final, d'établir le **bilan hydraulique** du réseau d'irrigation et d'estimer la part, en volume, de l'eau s'infiltrant jusqu'à la nappe d'eaux souterraines. Les termes du bilan font apparaître :

- le volume fourni aux parcelles sur une période donnée (distinction « irrigation gravitaire », « irrigation goutte à goutte »),
- la consommation théorique des plantes pour la même période (distinction « irrigation gravitaire », « irrigation goutte à goutte »),
- le volume d'eau retournant au réseau (différence entre volume entré et volume fourni aux parcelles),
- le volume total de rejet en collature,
- le volume d'eau infiltré jusqu'à la nappe (apports de la ressource souterraine).

2) Application de la méthode : problèmes rencontrés

Dans le cadre de la présente étude, plusieurs problèmes liés à l'acquisition de données ont été rencontrés dans l'application de la méthode proposée :

- absence de cartographie précise et détaillée de l'occupation des sols en fonction des pratiques culturales exercées (type de culture, type d'irrigation),
- absence de relevés des volumes d'eau fournis à chacune des prises,
- variabilité des sources de données et des données elles-mêmes concernant les volumes fournis aux principales branches des canaux Boisgelin-Craponne,
- absence de correspondance entre surfaces irriguées et volumes d'eau fournis,
- absence de relevés des volumes d'eau retournant au réseau.

De ce fait, la méthode type n'a pu être mise en œuvre sur le territoire de la nappe de la Crau. Des modulations ont dû être apportées afin de pouvoir proposer une estimation des volumes d'eau restitués à la nappe via l'irrigation. Aussi, l'attention du lecteur est-elle attirée sur l'incertitude entachant les résultats acquis.

2.1) Cartographie des espaces agricoles

Aucune cartographie de l'occupation des sols, à jour et suffisamment précise, n'existe aujourd'hui. La seule carte disponible, propriété de la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône, date de 2001 et ne peut être exploitée dans le cadre de la présente étude.

Les données SIG issues du CRIGE PACA, de même, ne sont pas exploitables en l'état (cartes en cours de revalidation ; niveau d'information insuffisant).

Sur cette base, deux documents cartographiques nous ont servi de base de réflexion, à savoir :

- les données SIG du Comité de foin de Crau
- les données bibliographiques relatives à la structure du réseau d'irrigation et aux surfaces irriguées déclarées par les ASA.

❖ Données SIG du Comité de foin de Crau :

Le Comité de foin de Crau a établi quatre bases de données SIG rendant compte de la localisation et de la répartition :

- de la chênaie verte,
- du foin de Crau,
- de la steppe de Crau,
- des vergers.

Considérant, d'une part que l'irrigation sous-pressure joue un rôle très faible dans la réalimentation de la nappe (par comparaison à l'irrigation gravitaire), d'autre part que l'essentiel des surfaces irriguées par submersion intéresse la culture du foin, seule les parcelles de foin sont prises en compte dans l'estimation des surfaces irriguées.

Ceci exclut, de fait, les surfaces irriguées par goutte à goutte ainsi que les autres cultures bénéficiant d'un arrosage par inondation (cas notamment du blé, des oliviers et des fruitiers).

La surface totale des parcelles de foin de Crau, sur la base de la cartographie élaborée par le Comité de foin de Crau, est de l'ordre de **10 405 hectares**.

Après discussion avec M. TRONC, Président du Comité de foin de Crau, cette surface apparaît fortement sous-estimée (de 20% au moins, soit **12 486 ha**).

❖ Données bibliographiques relatives à la structure du réseau et aux surfaces irriguées déclarées par les ASA :

La structure du réseau d'irrigation prise en référence est présentée page suivante.

Partant de ce synoptique, des données SIG fournies par la DDAF 13 sur les structures associatives ainsi que des données bibliographiques disponibles, un tableau de synthèse a été établi pour rendre compte :

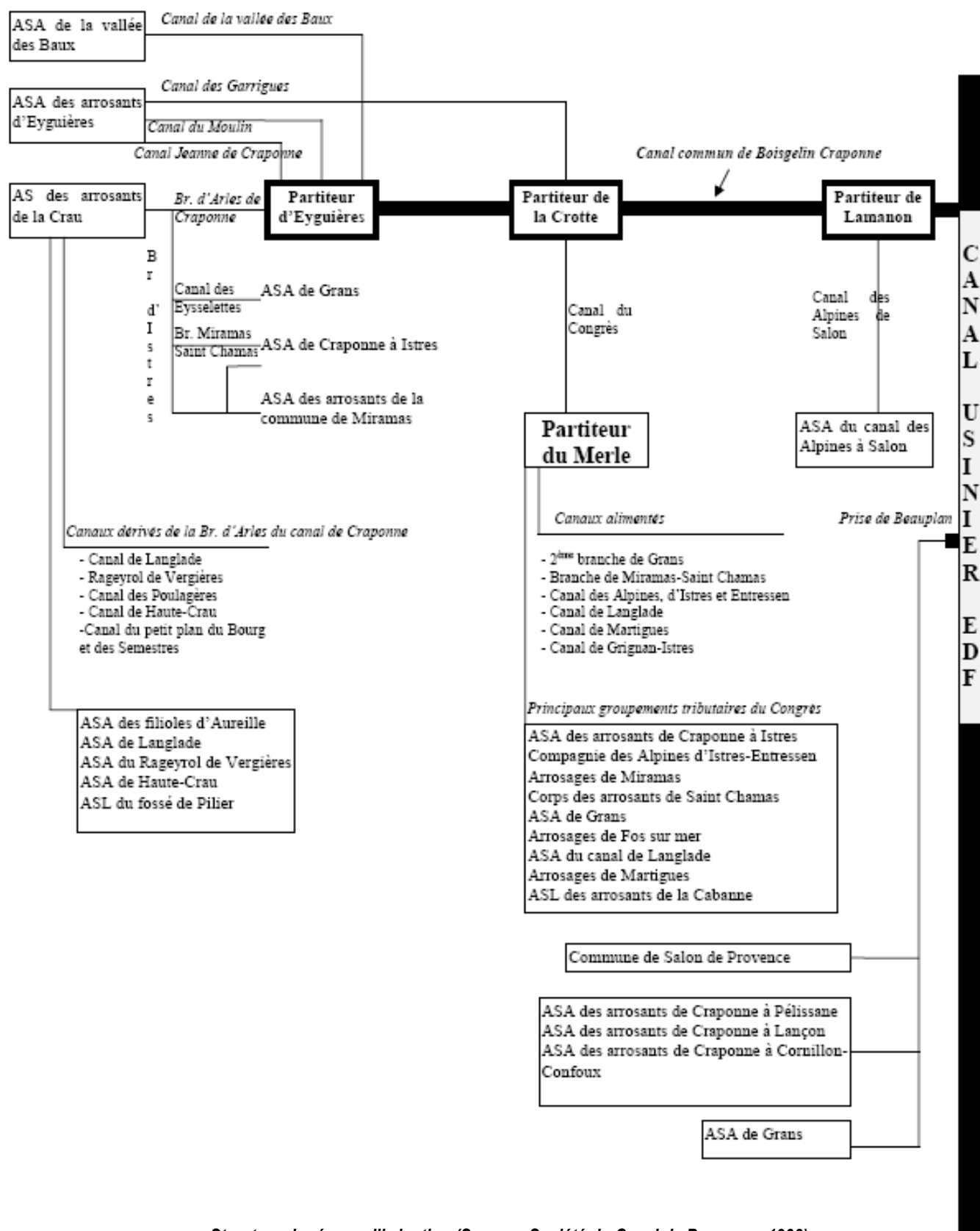
- des surfaces totales irriguées par ASA,
- des surfaces irriguées par ASA incluses dans le périmètre d'étude (estimatif).

Ce tableau est présenté page suivante.

Sur cette base, la surface totale irriguée a pu être estimée à **13 924 ha**.

Après avis du Comité de pilotage de l'étude, ce chiffre semble être sur-estimé de 5 à 10 % ce qui donne en final une surface d'irrigation comprise entre **12 532 et 13 228 ha**.

En conclusion, les surfaces agricoles irriguées par submersion peuvent être estimées entre 12 500 et 13 500 ha. Ces valeurs seront celles retenues pour la suite des calculs.



ASA	Superficie totale ASA (m2)	Superficie ASA sur aquifère (m2)	% territoire ASA sur aquifère	Territoire de l'ASA sur l'aquifère	Surface Irriguée (ha)	Surface irriguée sur l'aquifère (ha)	Périmètre d'action
ASA du canal d'irrigation de la Vallée des Baux	46443566.5	11753862.8	25.31	Partiellement	2000	506	- Une partie des collectivités territoriales de Salon de Provence, et une partie d'Eyguières, Mouriès
ASA des Arr. de la commune d'Eyguières	19368232	17406182.8	89.87	Partiellement	1200	1078	- Extrémité Nord-Est de la Crau sur la commune d'Eyguières. Statut du périmètre recouvre tous les quartiers d'Eyguières arrosables par les eaux de Craponne et du Canal des Alpines - Arrondissement d'Arles
AS des Arrosants de la Crau	219258303.7	210521949.9	96.02	Partiellement	8000	7681	- Crau d'Arles et d'Eyguières - Sur les collectivités territoriales d'Aureilles, Mouriès, St-Martin de Crau - Arrondissement d'Arles
ASA des Filioles d' Aureille	861616.1	861616.1	100.00	Totalement	40	40	- Crau dite d'Eyguières. Périmètre recouvre territoires d'Aureilles, St-Martin de Crau et Mouriès (avec l'essentiel sur le territoire d'Aureilles) - Arrondissement d'Arles
AS du canal de Langlade	61130231.1	60398383.9	98.80	Partiellement	100	99	- Crau jusqu'en bordure du Rhône. Le périmètre couvre les territoires de St-Martin et de Salon de Provence - Arrondissement d'Arles
ASA du Rajeirol de Vergières	26615305.7	24695344.2	92.79	Partiellement	1200	1113	- Crau, de St-Martin de Crau à Mas-Thibert. Périmètre situé sur les territoires d'Arles et de St-Martin - Arrondissement d'Arles
ASA d'irrigation de la Haute Crau	30591086.5	29819737.1	97.48	Partiellement	1500	1462	- Crau d'Arles ou crau sur la Durance, à l'Est de la ville d'Arles et au Nord de St-Martin de Crau. Le périmètre couvre une partie des territoires d'Arles et de St-Martin - Arrondissement d'Arles
ASA des Arr. de Craponne à Istres	13992099.2	8986461.8	64.23	Partiellement	1000	642	- Partie Sud-Est de la Crau et région de l'étang de Berre - Arrondissement d'Aix
ASA des Arr. de la commune de Grans	28070317	17073656	60.82	Partiellement	1000	608	- Bordure Sud-Est de la Crau. Le périmètre est presque en totalité sur la collectivité de Grans. Il recouvre une partie du territoire de Cornillon-Confoux dans la zone desservie par le canal des Eyselettes - Arrondissement d'Arles
ASA des Arr. du canal des Alpines à Salon	8520257.4	8436502.6	99.02	Partiellement	700	693	- Une partie des collectivités territoriales de Salon de Provence, Grans et une partie d'Eyguières
TOTAL	475307375.2	410410057.2			16740	13924	

Descriptif de la structure du réseau d'irrigation – Territoire de la nappe libre de Crau

2.2) Evaluation des volumes d'eau excédentaires permettant le soutien de la nappe

a) Volumes infiltrés au niveau des canaux

Considérant qu'au cours des dix dernières années, un volume annuel moyen de 480 millions de m³ est prélevé sur le canal de la Durance, il est estimé qu'un volume de 53 millions de m³ « alimente » la nappe.

b) Volumes fournis aux parcelles

Afin de calculer les volumes d'eau fournis aux différentes parcelles cultivées, les chiffres de 20 000 et 25 000 m³ de consommation annuelle en eau utile à l'irrigation d'un hectare de foin de Crau a été pris en référence.

Partant de cette hypothèse et de l'estimatif de la surface totale irriguée par submersion, les calculs ont aboutis aux résultats suivants :

Superficie totale irriguée gravitairement	Volume d'eau fourni aux parcelles	
	20 000 m ³ /ha/an	25 000 m ³ /ha/an
12 500 ha	250 Mm ³ /an	312.5 Mm ³ /an
13 500 ha	270 Mm ³ /an	337.5 Mm ³ /an

c) Part consommée par les plantes

Les besoins en eau des plantes ont été estimés via l'application des deux modes opératoires présentés dans la méthodologie.

❖ Mode opératoire n°1

Partant des volumes d'eau fournis aux parcelles calculés ainsi que du ratio moyen d'eau utile à la plante de 20%, la part consommée par les plantes a été évaluée comme suit :

Volume d'eau fourni aux parcelles		Part consommée par les plantes
20 000 m ³ /ha/an	25 000 m ³ /ha/an	
250 Mm ³ /an		50 Mm ³ /an
270 Mm ³ /an		54 Mm ³ /an
	312.5 Mm ³ /an	62.5 Mm ³ /an
	337.5 Mm ³ /an	67.5 Mm ³ /an

❖ Mode opératoire n°2

Deux hypothèses d'entrée ont été posées :

- surfaces irriguées par submersion à vocation unique de culture du foin (surface totale comprise entre 12 500 et 13 500 ha),
- besoins culturaux moyens pour le foin de Crau de l'ordre de 5 800 m³/ha/an.

Sur cette base, les volumes d'eau annuels prélevés par les plantes (foin de Crau par défaut) ont pu être estimés comme suit :

Superficie totale irriguée gravitairement	Volume d'eau consommé par les plantes
12 500 ha	72.5 Mm ³ /an
13 500 ha	78.3 Mm ³ /an

d) Volumes de rejets en colature

La part correspondante aux rejets en colature est estimée à 20 % du volume d'eau fourni aux parcelles, soit :

Volume d'eau fourni aux parcelles		Part d'eau rejeté (collature)
20 000 m ³ /ha/an	25 000 m ³ /ha/an	
250 Mm ³ /an		50 Mm ³ /an
270 Mm ³ /an		54 Mm ³ /an
	312.5 Mm ³ /an	62.5 Mm ³ /an
	337.5 Mm ³ /an	67.5 Mm ³ /an

e) Bilan hydraulique

Le volume infiltré au niveau des canaux est évalué à**53 Mm³/an**

Le volume total fourni aux parcelles est compris entre..... **250 et 337.5 Mm³/an**

La consommation théorique des plantes est comprise entre.....**50 et 78.3 Mm³/an**

Le volume total d'eau de rejet en colature est compris entre.....**50 et 67.5 Mm³/an**

De ce bilan, il ressort que le volume d'eau contribuant à la recharge de la nappe d'eaux souterraines est de :

❖ mode opératoire n°1 (besoins des plantes) :

- hypothèse basse (12 500 ha ; 20 000 m³/ha/an).....**97 Mm³/an**
- hypothèse haute (13 500 ha ; 25 000 m³/ha/an).....**149.5 Mm³/an**

❖ mode opératoire n°2 (besoins des plantes) :

- hypothèse basse (12 500 ha ; 20 000 m³/ha/an).....**74.5 Mm³/an**
- hypothèse haute (13 500 ha ; 25 000 m³/ha/an)**138.7 Mm³/an**

En final, le volume total d'eau retournant à la nappe, au vu des différentes hypothèses posées, représente 30 à 41% du volume total fourni aux parcelles (250 à 337.5 Mm³/an).

Méthode n°2 basée sur des ratios des volumes d'entrée

Dans le cadre d'expérimentations au Domaine du Merle, des bilans des flux d'eau au niveau de la parcelle et de l'exploitation agricole sont fournis. Sur la base de ces résultats, des extrapolations ont été réalisées au niveau de la Crau.

Extrait du document Quantification des flux d'eau en irrigation gravitaire en Crau – Rapport final UMR G-EAU :

« Bilan général des flux d'eau à l'échelle de la Crau :

La synthèse des résultats de l'étude des flux sur le Domaine du Merle, et des études antérieures (Agence de l'eau, SCP,...) permet de quantifier de manière schématique le devenir des flux d'eau prélevés à la Durance pour l'irrigation gravitaire de la Crau.

Sur 100 % des eaux prélevés sur le canal EDF de la Durance, on peut considérer que 15 % servent au maintien du niveau des prises et sont rejetés aux exutoires. Les 85 % restant entrent dans le réseau de distribution géré par les ASA et sont transportés vers les exploitants. Environ 15 % utilisés pour le maintien des niveaux de prise et à cause des refus de tours d'eau, sont rejetés aux exutoires (canaux d'assainissements). Les pertes par infiltration vers le sous-sol et par la consommation des plantes ripisylves sont estimées à 8 %, il reste donc 62 % des eaux prélevées qui sont distribuées à l'exploitant.

Chez l'exploitant agricole de foin de Crau, une partie de l'eau (8 %) s'infiltre dans les canaux primaires ou secondaires de son réseau. Elle est consommée par les plantes ripisylves, ou part vers la nappe souterraine. C'est finalement 54 % de l'eau prélevée sur la Durance qui sera servie à la parcelle irriguée.

Au niveau de la parcelle, une part qui représente 11 % s'écoule en colature, le reste 43 % s'infiltre dans la parcelle. Sur cette quantité infiltrée, la part de drainage vers la nappe souterraine est importante, elle représente 26 % des eaux prélevées sur la Durance alors que la prairie cultivée en consomme 17 %. Les eaux de colature 11 % peuvent être évacuées vers des canaux d'assainissement ou s'infiltrer vers la nappe comme c'est le cas au Domaine du Merle, dans ce cas l'apport à la nappe souterraine est de 48 % des eaux prélevées.

Cette étude des flux d'eau sur le site pilote du Domaine du Merle est une première approche, une deuxième phase de la recherche à l'échelle de l'ensemble du territoire craven serait indispensable pour établir les bases d'une gestion durable de cet hydro système dont les enjeux sont extraordinaires. »

Cette méthodologie est essentiellement basée sur des ratios appliqués aux volumes prélevés sur le Canal de la Durance. Selon les approches, on a considéré qu'il était difficile de se prononcer sur le devenir des eaux de colature et probablement faux de considérer que ces derniers ré-alimentent la nappe.

Sur la période 1997-2007, un volume annuel moyen de 480 millions de m³ a été fourni selon les éléments d'EDF. Ce chiffre est conservé pour la suite des calculs.

Hypothèse n°1 : 48 % des eaux fournies par le canal de la Durance retournent à la nappe (11 % correspondant aux pertes dans les colatures)

- 230 millions m³/an

Hypothèse n°2 : 37 % des eaux fournies par le canal de la Durance retournent à la nappe (les eaux de colature sont supposées sortir du système) :

- 178 millions m³/an