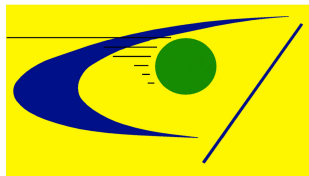


**COMMUNAUTE DE
COMMUNES
EURE - MADRIE - SEINE**



Communauté de Communes
Eure - Madrie - Seine

**Etude de recherche en eau
destinée à l'alimentation en eau potable
Secteur de Port-Mort**

**RAPPORT D'ETUDE DE PHASE 2 :
SUIVI HYDROGEOLOGIQUE DU FORAGE D'ESSAI**

CAP2164
JANVIER 2006

ETUDES ET EXPERTISES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

41 RUE EDOUARD VAILLANT - 92 300 LEVALLOIS PERRET - TEL : 01 55 90 16 68 - FAX : 01 55 90 60 77 - E-mail : ARCH.CON.S.XDC@wanadoo.fr
SIEGE SOCIAL ET BUREAU A LYON: 90 RUE DE PARIS - 69890 LA TOUR DE SALVAGNY - TEL 04 78 48 83 83 - FAX 04 78 48 86 31 - E-MAIL :

ARCHAMBAULT.CONSEIL@wanadoo.fr
BUREAU A TOURS : RUE MORANDIERE - ZAC DE LA PINSONNIERE - 37 260 MONTS - TEL 02 47 26 98 31 - FAX 02 47 73 04 17

ARCHAMBAULT CONSEIL - SA à Directoire et Conseil de Surveillance CAPITAL 500 000 € - SIRET 32875112800013 - APE 742 C

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
2	LOCALISATION	2
3	RAPPEL DES DONNEES HYDROGEOLOGIQUES DE LA ZONE 5	3
	3.1 Les travaux réalisés sur cette zone.....	3
	3.2 Les principaux résultats.....	3
	3.2.1 Les sondages de reconnaissance.....	3
	3.2.2 Le forage d'essai.....	4
	3.3 Conclusion.....	5
4	CARACTERISTIQUES DU FORAGE D'ESSAI FE6-1	6
	4.1 Coupe technique et géologique.....	6
	4.2 Débit à l'avancement.....	6
	4.3 Développement.....	7
	4.3.1 Choix du développement.....	7
	4.3.2 Mise en œuvre et résultats.....	8
	4.3.3 Résultats de la diagraphie de production.....	8
	4.4 Pompages d'essai.....	9
	4.4.1 Pompages d'essai par paliers de débit.....	9
	4.4.1.1 Test du 02/12/2005 (avant acidification).....	9
	4.4.1.2 Test du 09/12/2005 (après acidification).....	10
	4.4.2 Pompages d'essai de longue durée.....	12
	4.4.2.1 Mise en œuvre et conditions.....	12
	4.4.2.2 Conditions hydrauliques pendant le test.....	12
	4.4.2.3 Interprétation.....	13
	4.4.2.4 Simulation d'exploitation.....	15

4.4.2.5	Evaluation de l'aire d'alimentation, de la zone d'influence, de la zone d'appel du champ captant et, des courbes isochrones	16
4.5	Remarques	18
4.6	Qualité des eaux souterraines	19
5	DEFINITION DU CHAMP CAPTANT	20
5.1	Maintien du forage FE6-1 comme forage de production	20
5.2	Création d'un captage de production	20
5.3	Création d'un champ captant composé de deux ouvrages.....	21
5.4	Consignes d'exploitation et de surveillance	21
5.4.1	Consignes d'exploitation	21
5.4.2	Consignes de surveillance	22
6	SYNTHESE	24

ANNEXES

- annexe 1 : Localisation des ouvrages sur les différents sites de recherche (sur fond de plan géologique)
- annexe 2 : Localisation des ouvrages sur les différents sites de recherche (sur fond de plan topographique)
- annexe 3 : Localisation des ouvrages sur le site de recherche n°6 (sur fond de plan cadastral)
- annexe 4 : Implantation des ouvrages de la zone n°5
- annexe 5 : Courbes caractéristiques établies sur le forage d'essai FE5-1
- annexe 6 : Résultats du pompage d'essai de 4 h à 110 m³/h sur le forage d'essai FE5-1
- annexe 7 : Qualité des eaux exhaurées au droit du captage de Notre Dame à Pressagny-le-Val
- annexe 8 : Suivi piézométrique opéré sur le piézomètre Pz5-1 de décembre 2002 à février 2003
- annexe 9 : Coupes techniques et lithostratigraphiques des ouvrages FE6-1 et Pz6-1
- annexe 10 : Log de productivité réalisé avec un micromoulinet sur le forage d'essai FE6-1
- annexe 11 : Hydrogramme et courbe caractéristique établis à partir des résultats de l'essai de puits du 02/12/2005 sur le forage FE6-1
- annexe 12 : Hydrogramme et courbe caractéristique établis à partir des résultats de l'essai de puits du 09/12/2005 sur le forage FE6-1
- annexe 13 : Comparaison des courbes caractéristiques avant et après le développement par acidification
- annexe 14 : Caractéristiques du piézomètre de Farceaux de l'Agence de l'Eau Seine – Normandie - Chronique du niveau de l'eau au droit de ce piézomètre – Zoom sur la fin de cette chronique
- annexe 15 : Coupe hydrogéologique schématique de la Seine à la zone n°5 en passant par la zone n°6
- annexe 16 : Graphe d'évolution du débit en fonction du temps enregistré au cours du pompage d'essai de 72 h au débit de 100 m³/h sur le FE6-1
- annexe 17 : Graphe d'évolution de la turbidité en fonction du temps enregistré au cours du pompage d'essai de 72 h au débit de 100 m³/h sur le FE6-1

- annexe 18 : Graphes d'évolution des niveaux de l'eau sur le FE6-1 (et un zoom) et le Pz6-1 en fonction du temps enregistrés au cours du pompage d'essai de 72 h au débit de 100 m³/h sur le FE6-1 – Tableau des mesures manuelles opérées sur les ouvrages
- annexe 19 : Interprétations sur les courbes de descente et/ou de remontée du niveau d'eau observé sur les ouvrages : SR6-1, Pz6-1 et FE6-1
- annexe 20 : Détermination graphique du rayon d'action fictif provoqué par le pompage de 100 m³/h sur le forage FE6-1
- annexe 21 : Simulations analytiques de l'évolution du niveau d'eau soumis à différents débits d'exploitation
- annexe 22 : Limite du bassin versant hydrographique et du bassin d'alimentation hydrogéologique en amont de la zone n°6
- annexe 23 : Carte piézométrique (approchée) à l'étiage 2005 – Evaluation de la zone d'appel du pompage sur le forage FE6-1
- annexe 24 : Définition des isochrones à 10 j et à 50 j
- annexe 25 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques sur l'eau prélevée à la fin du pompage de 72 h – Diagramme de Piper de l'eau du forage FE6-1

TABLEAUX

Tableau 1 Principales caractéristiques des sondages de reconnaissance de la zone n°5.....	3
Tableau 2 Lithostratigraphie des terrains rencontrés au droit du SR6-3	6
Tableau 3 Résultats des débits à l'avancement au droit du SR6-1.....	7
Tableau 4 Résultats du pompage du 02/12/2005 par paliers de débit avant acidification	10
Tableau 5 Résultats du pompage du 09/12/2005 par paliers de débit après acidification	11
Tableau 6 Niveau d'eau sur les ouvrages avant le pompage d'essai de 72 h du 11/12/2005 sur le FE6-1 ..	12
Tableau 7 Mesures du niveau d'eau sur FE5-1 et sur le piézomètre de Farceaux avant les pompages d'essai	13

Tableau 8 Synthèse des mesures de niveaux d'eau au droit des différents ouvrages pendant le pompage de 72h au débit de 100 m ³ /h du 11 au 14/12/2005.....	14
Tableau 9 Résultats des interprétations du pompage de 72h à 100 m ³ /h sur FE6-1	15
Tableau 10 Caractéristiques des isochrones.....	18
Tableau 11 Synthèse des paramètres hydrodynamiques au droit des ouvrages	25
Tableau 12 Synthèse des observations sur les ouvrages pendant le pompage de 72 h à 100 m ³ /h sur FE6-1	25

DOCUMENTATION CONSULTÉE

- Document 1 : BRGM : Carte géologique Les Andélys (n°124) au 1/50 000
- Document 2 : IGN : Carte topographique au 1/25 000 de la Forêt de Bord-Louviers (n°2012 O'I)
- Document 3 : BRGM : Atlas hydrogéologique de l'Eure, 1989
- Document 4 : BRGM : Dossier technique de la Banque des données du Sous-Sol
- Document 5 : GAUDRIOT : Recherche d'eau dans la vallée de la Seine - Phase 1 - Recherche des sites favorables et propositions d'implantation des sondages de reconnaissance - Ville de Gaillon - Septembre 2000
- Document 6 : GAUDRIOT : Recherche d'eau en rive droite de la Seine - Commune de Gaillon - Dossier de déclaration de pompage dans une nappe d'eau souterraine et de rejet dans un cours d'eau, janvier 2005
- Document 7 : GAUDRIOT : Réunion de présentation des résultats - Aubevoye, 10/02/2004 - Recherche d'une nouvelle ressource en eau potable en rive droite de la Seine
- Document 8 : Communauté de communes Eure – Madrie - Seine : Compte rendu de la réunion du 20/10/2004 – Point dossier recherche en eau Port-Mort

ADDITIF AU RAPPORT D'ETUDE DE PHASE 2

Les relevés de nivellement du géomètre postérieurs à l'établissement de ce rapport sont présentés ci-après.

Ouvrage	Cote de la tête de forage (m NGF)	Cote du sol (m NGF)
Forage d'essai FE6-1	22,408	21,657
Piézomètre Pz6-1	22,095	21,204
Sondage de reconnaissance SR6-1	22,867	22,498

Ces données récentes ne modifient pas le schéma hydrogéologique global proposé.

1 Introduction

Dans le cadre de la recherche d'une nouvelle ressource en eau dont l'objectif est au minimum 1 650 m³/j (soit 150 m³/h), trois sondages de reconnaissance ont été réalisés au marteau fond de trou, par la société SADE, au cours de la période du 3 au 11 octobre 2005, sur la commune de Port-Mort.

Le sondage de reconnaissance SR6-3, le plus intéressant du point de vue du potentiel hydrogéologique obtenu par pompage au soufflage à l'avancement, a été transformé en forage d'essai FE6-1.

Ce rapport rend compte des résultats obtenus lors de cette transformation, des opérations de développement et des pompages d'essai, ainsi que de l'avenir du site.

2 Localisation

Parmi les trois sites circonscrits (6-1, 6-2 et 6-3) dans la zone de recherche n°6 sélectionnée dans le cadre de l'étude menée par Gaudriot, seuls les sites 6-1 et site 6-2 ont été testés dans le cadre de cette étude.

Le site 5-1 a été testé ultérieurement et les travaux ont fait l'objet d'un suivi opéré par le BET Gaudriot.

Ces deux sites, 6-1 et 6-2, sont localisés sur un extrait de la carte géologique Les Andélyz au 1/50000, consigné en annexe 1.

On a désigné les différents ouvrages par :

- SR6-1 pour l'ouvrage réalisé sur le site 6-2,
- SR6-2 pour celui effectué le plus proche de la route (à une dizaine de mètres du bord du talus) sur le site 6-1. cet ouvrage a été transformé en piézomètre Pz6-1,
- SR6-3 pour celui creusé le plus loin (à une vingtaine de mètres du bord du talus) de la route sur le site 6-1. Cet ouvrage a été transformé en forage d'essai FE6-1.

L'annexe 2 présente la localisation de tous ces ouvrages sur un fond de plan topographique au 1/25000 (carte de la Forêt de Bord-Louviers n°2012 OT) agrandi. L'annexe 3 montre ces ouvrages sur un extrait de plan cadastral.

3 Rappel des données hydrogéologiques de la zone 5

3.1 Les travaux réalisés sur cette zone

L'annexe 4 (planche présentée par le BET Gaudriot au cours de la réunion du 10/02/2004) consigne le plan d'implantation des différents ouvrages exécutés sur cette zone n°5 : site 5-1 de Val Timel et, site 5-2 de Val Chernal.

SADE a exécuté huit sondages de reconnaissances dont un a été transformé en forage d'essai et un autre en piézomètre.

3.2 Les principaux résultats

3.2.1 Les sondages de reconnaissance

On rappelle dans le tableau ci-après les caractéristiques des sondages de reconnaissance obtenues sur cette zone n°5.

Tableau 1 Principales caractéristiques des sondages de reconnaissance de la zone n°5

Sondage	Débit à l'avancement (m ³ /h)	Profondeur totale de l'ouvrage (m)	Profondeur de la craie grise	Profondeur des lères arrivées d'eau (m/sol)	Niveau statique (m/sol)
SR5-1	0	46	-	-	20,8
SR5-2	9	46	41	-13	11,8
SR5-3	15	55	46	-14,5	10
SR5-4	25	46	-	-14	10
SR5-5	8	46	-	-16,8	?
SR5-6	25	55	46	-15	10,52
SR5-7	18	61	48	-15,5	11,25
SR5-8	18	35	-	-	?

Les ouvrages SR5-4 et SR5-8 ont été transformés respectivement en forage d'essai FE5-1 et en piézomètre Pz5-1.

Le sondage SR5-8 creusé initialement jusqu'à 35 m a été remblayé de 35 à 27 m en raison de l'absence d'augmentation du débit obtenu au soufflage à l'avancement et, a été équipé en piézomètre.

3.2.2 Le forage d'essai

En fin d'alésage du forage d'essai FE5-1, le débit au soufflage était de 50 m³/h.

Après équipement, deux traitements par injection d'acide chlorhydrique ont été exécutés : le premier à 30 m (1 T), le second 1T à 30 m et 2 T à 42 m. Après chaque injection, cet ouvrage a été nettoyé par émulseur.

Deux pompages d'essai par paliers de débit croissant de 1h ont été effectués de 40 à 137 m³/h. Le niveau dynamique maximal atteint au débit de 137 m³/h est de 18,62 m.

L'annexe 5 consigne les courbes caractéristiques établies à partir des résultats de ces tests.

Le rabattement maximal observé à 137 m³/h était de 5,66 m, d'où un débit spécifique de 24,2 m³/h/m de rabattement.

Cette valeur est nettement inférieure (environ 2 à 12 fois) à celle rencontrée au droit des captages de la Communauté de communes Eure-Madrie-Seine (excepté l'ouvrage "La Grande Prairie").

L'annexe 6 présente la planche synthétique relative aux résultats du pompage d'essai en continue de 4 h au débit de 110 m³/h.

Après 4 h, le niveau dynamique atteignait la profondeur de 16,66 m d'où un rabattement de 3,72 m (soit un débit spécifique d'environ 30 m³/h/m de rabattement).

Le BET Gaudriot a calculé une transmissivité de $3,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s à partir des valeurs du niveau dynamique observées pendant ces 4 h.

A la fin de ce test, l'analyse d'eau a fourni une teneur en nitrates de 10 mg/l.

Dans le contexte hydrogéologique comparable, au niveau du captage de Notre Dame à Pressagny-le-Val, la teneur en nitrates fluctue très faiblement autour de 22 mg/l. alors que la turbidité moyenne est de 0,58 NTU (annexe 7).

Ce captage de Notre Dame montrait la présence de triazines en 1992, 1994 et 1997.

Le profil de productivité réalisé le 16/10/2001 au débit de 36,5 m³/h puis au débit de 99,8 m³/h, a mis en évidence :

- la mobilisation des venues d'eau au 1^{er} débit entre 15 et 22 m de profondeur,
- la mobilisation d'arrivées d'eau plus profondes au 2^{ème} débit : 50% au niveau de la tranche crayeuse comprise entre 15 et 18 m puis 50% entre 18 et 28 m de profondeur.

Cette campagne de recherche en eau souterraine s'est déroulée alors que la nappe de la craie était en décrue mais avec encore un niveau relativement haut par rapport aux précédents cycles hydrologiques.

Le suivi piézométrique organisé au droit de l'ouvrage Pz5-1 au cours de l'hiver 2002-2003 a montré (annexe 8) :

- que pour une recharge hivernale de 119 mm pendant le mois de décembre 2002, la surface de la nappe avait remonté de 1,50 m au cours du mois de janvier 2003,
- qu'après la remontée du mois de janvier 2003, le tarissement de la nappe de la craie se déroulait à raison de 0,3 cm/jour (soit environ 0,09 m/mois).

3.3 Conclusion

Le BET Gaudriot a conclu :

- que seuls les trente premiers mètres de craie semblent aquifères d'où la limitation en profondeur des futurs ouvrages à environ 30-35 m,
- que les premières venues d'eau sont superficielles (entre 12 et 15 m),
- que le débit d'exploitation de l'époque (très hautes eaux malgré la décrue en raison d'une succession de cycles hydrologiques très excédentaires) risquait d'être revu à la baisse lors d'un étiage plus sévère,
- que le pompage d'essai de longue durée devrait être réalisé au cours d'une période plus propice afin de quantifier les ressources réellement disponibles.

La phase 3, ou phase conditionnelle 2 du marché d'étude passé avec Archambault Conseil en 2005, prévoyait la réalisation éventuelle d'un pompage d'essai au droit du forage d'essai FE5-1.

Ces tests hydrauliques avaient pour but de confirmer la productivité de la zone de recherche déjà observée en 2001 alors que le contexte hydrogéologique était plutôt favorable puisque l'état de la nappe de la craie se situait en période de très hautes eaux interannuelles malgré la vidange de l'aquifère à l'étiage du cycle hydrologique 2000-2001.

4 Caractéristiques du forage d'essai FE6-1

4.1 Coupe technique et géologique

La coupe lithologique déterminée à partir des échantillons de terrain pris par le foreur tous les mètres est celle relevé lors de la foration du sondage de reconnaissance SR6-3.

Cette coupe est présentée en annexe 9 avec la coupe technique et, on propose l'interprétation stratigraphique suivante :

Tableau 2 Lithostratigraphie des terrains rencontrés au droit du SR6-3

Profondeur (m)	Epaisseur (m)	Nature des terrains	Interprétation proposée
0 - 2	2	Limons brun à concrétions calcaires et très rares silex centimétriques	Quaternaire
2 - 3	1	Banc de silex sans la gangue argilo-lomineuse	Formation à silex
3 - 11	8	Craie blanchâtre à jaunâtre à silex peu nombreux, de couleur noire ou brune	Turonien
11 - 13	2	Craie blanchâtre marneuse à silex noirâtre épars	
13 - 17	4	Craie franche plus compacte à silex noirs	
17 - 38	21	Craie franche plus compacte sans silex Présence de nombreux fossiles, traces d'oxydation entre 17-19m, 20-21m, 23-25m, 33-34m, 35-38m,	
38 - 40	2	Craie grisâtre, à glauconie très nombreuse, sans silex, quelques taches d'oxydation entre 38-39m,	Cénomaniens
40 - 41	1	Craie grisâtre, à glauconie très nombreuse, avec de très nombreux silex noirs	
41 - 50	9	Craie grisâtre sableuse, à glauconie très nombreuse, avec de très nombreux silex noirs, à taches d'oxydation entre 45-50m	

Cette annexe 9 consigne également la coupe lithologique et technique du piézomètre Pz6-1.

4.2 Débit à l'avancement

On a mesuré lors de la foration le débit par soufflage à l'avancement (par tige de foration de 6 m). Chaque débit a été mesuré dans un bac de 75 litres, après 15 minutes de soufflage. Les disponibilités environnementales étaient telles qu'il était difficile de faire autrement.

On obtient l'évolution du débit à l'avancement ci-après :

Tableau 3 Résultats des débits à l'avancement au droit du SR6-1

Profondeur	Débit (m ³ /h)
à 18 m	47
24 m	75
30 m	90
36 m	100
42 m	150
48 m	150
50 m	>150

On note que les mesures relatives de ces débits à l'avancement sont sujettes à caution dès lors que le débit dépasse 75 m³/h. En effet, le temps de mesure dans la bassine de 75 litres passe de 3,6 secondes à 1,8 seconde entre 75 et 150 m³/h.

Dès lors une mauvaise appréciation sur le remplissage et/ou le temps de mesure avec le chronomètre peut avoir des répercussions importantes sur l'évaluation du débit.

Les résultats de ces mesures sont donc à prendre avec précaution.

4.3 Développement

4.3.1 Choix du développement

Le développement n'a été entrepris qu'après avoir effectué le premier pompage d'essai par paliers de débit croissant du 02/12/2005.

En effet, les mesures de débit obtenues au soufflage à l'avancement laissaient envisager une productivité importante de l'ouvrage.

Or le débit spécifique calculé au débit maximal exhauré, soit 100 m³/h, avec la pompe immergée en place s'élevait seulement à 12,5 m³/h. Par ailleurs, l'eau paraissait limpide lors des démarrages de la pompe quel que soit le débit.

Cette valeur est très inférieure à celles rencontrées au droit du parc d'ouvrages de la Communauté de Communes Eure-Madrie-Seine, hormis celle du forage de "La Grande Prairie".

En effet, la productivité est approximativement inférieure de 4 fois celle observée sur les ouvrages de "Verte Bonne" ou de "l'Ormais 2", à 25 fois au droit du captage "Le Mont Jouen" pour le même débit de 100 m³/h.

Après concertation entre le maître d'ouvrage, la SADE et Archambault Conseil, il a été décidé d'entreprendre un traitement par injection d'acide chlorhydrique à 20° Baumé.

Cette opération pouvait développer une meilleure connexion avec le réseau de fissuration donc augmenter la productivité mais avoir pour conséquence d'introduire de la turbidité dans l'eau exhaurée lors d'évènements pluvieux intenses.

4.3.2 Mise en œuvre et résultats

Les travaux se sont déroulés du mardi 6 décembre au mercredi 8 décembre 2005 de la façon suivante :

Mardi 06/12/2005 :

- installation du chantier,
- mesure du niveau statique à -11,12 m/repère,
- mesure du fond de forage à -50,80 m/repère,
- descente d'une pompe Ø6" à -16 m/repère,
- réalisation du profil de productivité avant traitement avec un micromoulinet,
- dépose de la pompe Ø6".

Mercredi 07/12/2005 :

- mesure du niveau statique à -11,12 m/repère,
- descente de la colonne d'air lift double colonne et du tube d'injection de l'acide chlorhydrique,
- fermeture du forage par un capot étanche (par soudure),
- injection sous pression de 0,7 T d'acide chlorhydrique à 20° Baumé à 45 m/repère, à l'aide d'une pompe d'injection de surface (temps d'injection : environ 10 minutes),
- attente de réaction de l'acide sur les formations carbonatées de 2 heures,
- air lift de nettoyage de 1 heure ; le débit (Q) a été mesuré à 30 m³/h avec une bassine,
- le niveau dynamique à 1 heure se situait à -11,42 m/repère, soit un rabattement s de 0,3 m d'où un débit spécifique (Q/s) approximatif de 100 m³/h/m de rabattement.

Jeudi 08/12/2005 :

- mesure du niveau statique à -11,11 m/repère,
- fermeture du forage par un capot étanche,
- injection de 1,3 T d'acide chlorhydrique à 20° Baumé à 19 m/repère (temps d'injection : environ 15 minutes)
- attente de réaction de 2 heures,
- air lift de nettoyage de 1 heure ; le débit (Q) a été mesuré avec la bassine de 75 litres à 27 m³/h,
- mesure du niveau dynamique à 1 heure à -11,32m/repère soit un rabattement (s) de 0,14 m d'où un débit spécifique (Q/s) approximatif de 193 m³/h/m de rabattement
- mise en place de la pompe immergée Ø10" à 26 m/repère,
- pompage de nettoyage de 1h à 50 m³/h et de 1 h à 100 m³/h.

4.3.3 Résultats de la diagrapie de production

Comme le stipulait le CCTP des travaux de forage, l'entreprise SADE a réalisé un micromoulinet via Archambault Conseil.

La SADE a enlevée la pompe immergée Ø10" pour mettre en place un groupe électropompe immergé plus petit de Ø6" afin de permettre le passage du micromoulinet.

La pompe Ø6" était installée vers 17 m/repère. Le fil du micromoulinet glissait dans un tube guide sonde installé sur le bord du tubage.

Le test hydraulique s'est déroulé au débit d'environ 50 m³/h (mesure à la bassine de 75 litres). On a effectué une mesure au micromoulinet tous les 0,50 m, avec des doublets de mesures sur les anomalies.

Le micromoulinet s'est malencontreusement coincé à -19m/repère (soit environ 1 m sous le pied du tube cimenté à l'extrados à partir de -14,5m/sol). On ne dispose donc pas de mesure de débit dans le tube plein (100% du débit) ni sur le dernier mètre des horizons crayeux.

De plus, on signale que la position excentrée du micromoulinet dans la colonne captante n'a peut-être pas permis de mesurer la totalité du débit observé à -19m/repère (seulement 34 m³/h).

Les conditions de réalisation de ce profil de productivité et les aléas ont conduit à formuler deux hypothèses pour l'interprétation des mesures qui conduisent à proposer une répartition différente des flux de productivité (annexe 10) :

- Hypothèse 1 : la totalité du débit exhauré était mesuré à -19 m/repère mais le décentrage du micromoulinet par rapport à la colonne captante n'a pas permis de mesurer le nombre de tours d'hélice pour obtenir les 50 m³/h exhauser ; dans ce cas, aucune arrivée d'eau n'est présente entre -19m/repère et la base du tube plein. 80% du débit provient de la tranche crayeuse comprise entre 49,5 et 50,5 m/repère ; le reste étant réparti entre 14% de 45,5 à 46,5 m/repère et enfin 6% de 23,5 à 19,5 m/repère,
- Hypothèse 2 : les 16 m³/h manquant entre -19 et -18 m/repère n'étaient pas dus au décentrage du micromoulinet mais à la production d'une venue d'eau qui n'a pu être observée faute de mesure au micromoulinet. La venue d'eau situait entre 49,5 et 50,5 m/repère produit seulement 54% des 50 m³/h exhaurés et 33% proviennent de la tranche crayeuse située entre -19 et -18 m/repère (zone non mesurée).

Comme on verra au §4.4.1., on penche plutôt pour la première hypothèse.

4.4 Pompages d'essai

Deux types de pompages ont été réalisés pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe de la craie et le débit d'exploitation optimal du forage FE6-1 :

- le pompage d'essai par paliers de débit croissant enchaînés (ou essai de puits) : chaque palier a duré une heure,
- le pompage d'essai en continu de longue durée (ou essai de nappe) : ce test a duré 72 heures.

4.4.1 Pompages d'essai par paliers de débit

4.4.1.1 Test du 02/12/2005 (avant acidification)

L'annexe 11 consigne l'hydrogramme de ce test hydraulique qui comportait également une remontée de 3 heures à la fin du quatrième palier de débit.

La courbe caractéristique (annexe 11) de cet ouvrage FE6-1 illustre l'évolution du rabattement en fonction du débit. Elle est définie à partir des résultats synthétiques du tableau ci-après.

Son équation est de la forme : $s = a \times Q + b \times Q^2$ avec :

s le rabattement en mètre, Q le débit en m³/h et, a le coefficient des pertes de charge linéaires et b le coefficient des pertes de charge quadratiques.

On obtient l'équation de la courbe caractéristique : $s = 3,15.10^{-2} \times Q + 5,64.10^{-4} \times Q^2$

A 100 m³/h, le niveau dynamique atteint 19,3 m/repère, il se situe donc à plus d'un mètre sous la base du tube plein cimenté à l'extrados.

On remarque l'absence de décrochement de ce 4^{ème} palier par rapport aux trois premiers. Si une arrivée d'eau existait au niveau de cet horizon crayeux, deux hypothèses sont émises :

- elle est mineure : elle représente 33% du débit testé au micromoulinet (§4.3.3), soit 16 m³/h des 50 m³/h exhaurés, mais elle peut représenter un pourcentage plus faible lorsque le débit augmente,
- son dénoyage a été masqué par un développement de l'ouvrage.

L'autre explication de cette absence de décrochement pourrait être celle de l'hypothèse 1 du §4.3.3, à savoir l'absence de venue d'eau sur cette tranche de terrain.

On rappelle toutefois qu'aucun profil de productivité n'a été réalisé après la seconde acidification.

Tableau 4 Résultats du pompage du 02/12/2005 par paliers de débit avant acidification

Niveau Statique sur le FE6-1 : 11,15 m/repère (repère à environ +0,90 m/sol, soit NS à 10,25m/sol)						
Niveau statique sur le Pz6-1 : 10,88 m/repère (repère à environ +1,00m/sol)						
N° du palier	Débit Q (m ³ /h)	Niveau dynamique (m/repère)	Rabattement s (m)	Débit spécifique Q/s (m ³ /h/m de rabattement)	Niveau dynamique sur Pz6-1 (m/repère)	Rabattement sur Pz6-1 (m)
1	23	12,08	0,93	24,7	10,99	0,11
2	51,5	14,44	3,29	15,6	11,33	0,45
3	75,3	17,19	6,04	12,5	11,98	0,90
4	99,5	19,32	8,17	12,2	12,50	1,62

L'application de la relation "rabattement s - débit Q" permet de calculer l'ordre de grandeur du niveau d'eau dans le forage après une heure de pompage dans les conditions hydrauliques du jour du test.

On constate que le débit spécifique de 12,2 m³/h/m de rabattement est relativement faible par rapport aux valeurs des autres captages de la Communauté de communes Eure-Madrie-Seine.

Ces derniers présentent des valeurs de débit spécifique qui sont 4 à 25 fois supérieur pour un débit de 100 m³/h (cf. §4.3.1.).

D'autre part, la faible diminution du débit spécifique entre les paliers 3 et 4 laisse envisager un développement de l'ouvrage en cours de pompage malgré l'absence d'une qualité d'eau (turbidité) permettant d'étayer cette hypothèse.

Après 3 heures de remontée, le rabattement résiduel était de 0,05 m au droit du forage d'essai FE6-1 et 0,02 m sur le piézomètre Pz6-1.

L'eau est restée claire à chaque palier de débit.

4.4.1.2 Test du 09/12/2005 (après acidification)

L'annexe 12 présente l'hydrogramme obtenu avec les mesures de niveau d'eau ainsi que la courbe caractéristique établie à partir des données synthétiques mentionnées dans le tableau ci-après.

Ce test hydraulique du 09/12/2005 s'est déroulé sensiblement dans les mêmes conditions que celui du 02/12/2005.

Le niveau statique de la nappe de la craie était très légèrement supérieur à celui du 02/12/2005 (+0,05 m).

La SADE a fixé le débit maximal de pompage à 100 m³/h pour ne pas provoquer de désordres sur la conduite qui refoule sous pression l'eau exhaurée dans la Seine à près d'un kilomètre du point de prélèvement.

Tableau 5 Résultats du pompage du 09/12/2005 par paliers de débit après acidification

Niveau statique sur le FE6-1 : 11,35 m/repère (repère à environ +1,15 m/sol, soit NS à 10,20 m/sol)							
Niveau statique sur le Pz6-1 : 10,86 m/repère (repère à environ +1,00m/sol)							
N° du palier	Débit Q (m ³ /h)	Niveau dynamique (m/repère)	Rabatement s (m)	Débit spécifique Q/s (m ³ /h/m de rabatement)	Niveau dynamique sur Pz6-1 (m/repère)	Rabatement sur Pz6-1 (m)	Couleur de l'eau **
1*	23,4	11,43	0,08	292	10,86	0,00	Eau légèrement opalescente jusqu'à 30'
2	51,8	11,70	0,35	148	10,90	0,04	Eau très légèrement opalescente jusqu'à 8'
3	73,9	12,03	0,68	109	10,97	0,11	Eau claire dès le début de pompage
4	100,1	12,49	1,14	88	11,08	0,22	Eau blanchâtre pendant 2' puis opalescente et enfin claire après 9'

* : La valeur du débit spécifique est imprécise compte tenu du faible rabatement mesuré et une erreur sur ce paramètre ou une imprécision sur le débit peut introduire une grande variation sur le débit spécifique

** : pas de dépôt limoneux dans le récipient de prélèvement

L'équation de la courbe caractéristique, établie à partir des résultats synthétiques du tableau ci-dessus, est devenue après acidification :

$$s = 1,18.10^{-2} \times Q + 1,05.10^{-4} \times Q^2 \text{ avec}$$

s le rabatement en mètre, Q le débit en m³/h et, a le coefficient des pertes de charge linéaires et b le coefficient des pertes de charge quadratiques.

On constate une très nette amélioration du débit spécifique. La valeur de 88 m³/h/m de rabatement obtenue au 4^{ème} palier à 100 m³/h est du même ordre de grandeur que celle obtenue sur les captages de "Val Corbon" ou "l'Ormais 1" en 2005.

Le graphique de l'annexe 13 compare les deux courbes caractéristiques avant et après les acidifications.

On visualise nettement l'amélioration de la productivité de cet ouvrage au débit de 100 m³/h après 1 h de pompage puisque le niveau dynamique est passé de 19,32 m à 12,49 m.

Le débit est très nettement supérieur au débit de 100 m³/h prélevé au quatrième palier.

4.4.2 Pompages d'essai de longue durée

4.4.2.1 Mise en œuvre et conditions

La SADE a mis en place le dispositif de surveillance suivant pour le pompage d'essai de 72 h au débit moyen de 100 m³/h :

- mesure manuelle à l'aide d'une sonde piézométrique couplée à un enregistreur automatique de données sur le forage d'essai FE6-1,
- mesure manuelle à l'aide d'une sonde piézométrique couplée à un enregistreur automatique de données sur le piézomètre Pz6-1,
- mesure manuelle ponctuelle sur le sondage de reconnaissance SR6-1,
- mesure manuelle ponctuelle sur le forage d'essai FE5-1,
- enregistrement du débit,
- enregistrement de la turbidité,
- prélèvement d'échantillons d'eau à 72 h de pompage par le laboratoire SGS Multilab de Rouen.

La SADE a mesuré les niveaux d'eau après arrêt de l'exhaure pendant 7 heures.

4.4.2.2 Conditions hydrauliques pendant le test

Le niveau de la nappe de la craie au droit des ouvrages avant le démarrage du pompage longue durée est répertorié dans le tableau ci-après :

Tableau 6 Niveau d'eau sur les ouvrages avant le pompage d'essai de 72 h du 11/12/2005 sur le FE6-1

Mesures du niveau d'eau réalisées le 11/12/2005 à 12h00				
Repère : hauteur approximative/sol	+1,15m/sol	+1,00m/sol	+0,50m/sol	+1,05/sol
Ouvrage	FE6-1	Pz6-1	SR6-1	FE5-1
Cote estimée du sol (m NGF)	+19,5	+19,1	+21	+36
Niveau d'eau (m/repère)	11,30	10,78	11,56	17,14
Cote approximative du niveau de la nappe au repos (m NGF)	+9,35	+9,32	+9,94	+19,91

La nappe de la craie est nettement plus basse qu'au cours du pompage effectué sur le forage d'essai FE5-1 pour établir le profil de productivité le 16/10/2001.

En effet, le niveau d'eau est inférieur de 15,24 m au droit du piézomètre de Farceaux. Cet ouvrage appartient au réseau de piézomètre de surveillance de l'état des nappes de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

L'annexe 14 consigne les caractéristiques de cet ouvrage.

On peut considérer que le test hydraulique du 11/12/2005 est réalisé dans des conditions d'étiage très sévères (cf. annexe 14).

Lors des pompages d'essai, le niveau de l'eau au droit du piézomètre de Farceaux s'établissait à une cote inférieure à +97 m NGF.

Sur cet ouvrage, le niveau de l'eau est passé de +96,83 m NGF le 05/10/2005, lors du début des travaux de foration sur le SR6-1, à +96,43 m NGF le 15/12/2005 après la fin de la remontée du pompage d'essai de longue durée.

Le niveau d'eau atteint au droit de ce piézomètre lors des tests hydrauliques peut être considéré comme un niveau d'étiage très sévère puisqu'il fait partie des cinq niveaux d'étiage étant passé sous la barre des +97 m NGF :

- +96,53 m NGF en janvier 1974,
- +96,77 m NGF en décembre 1976,
- +95,84 m NGF en novembre 1992,
- +96,60 m NGF en décembre 1997
- +96,43 m NGF le 15/12/2005.

La Communauté de communes Eure-Madrie-Seine a également contrôlé le niveau de la nappe de la craie au droit du forage d'essai FE5-1.

Le tableau ci-après compare les niveaux d'eau en fonction du temps, mesurés par la collectivité avec ceux enregistrés sur le piézomètre de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. On en a déduit le tarissement de la nappe de la craie au droit de chaque ouvrage.

Tableau 7 Mesures du niveau d'eau sur FE5-1 et sur le piézomètre de Farceaux avant les pompages d'essai

Date	Profondeur du niveau de l'eau/repère (m)	Tarisement*	Cote du niveau de l'eau (m NGF)	Tarisement
	Forage d'essai FE5-1		Piézomètre de Farceaux	
12/08/2005	16,50		+97,17	
19/08/2005	16,50		+97,13	
22/09/2005	16,77	0,23 m/mois	+96,92	0,29 m/mois
24/10/2005	15,90		+96,71	
11/12/2005	17,14		+96,45	
14/12/2005	17,14		+96,43	

* : le suivi opéré par le BET Gaudriot avait permis d'établir un tarissement de 0,09 m/mois (cf. §3.2.2 et annexe 8)

Les différents niveaux d'eau mesurés sur les ouvrages ainsi que leur coupe lithologique ont permis d'établir la coupe hydrogéologique schématique de l'annexe 15.

Ce schéma apporte des informations complémentaires sur le contexte hydrogéologique :

- le gradient hydraulique de la nappe de la craie entre la zone n°5 et la zone n°6 est de l'ordre de 1,2% et caractérise ainsi la relative difficulté de circulation de l'eau souterraine,
- le gradient hydraulique entre la zone n°6 et la Seine en aval du barrage de Port-Mort (qui draine la nappe de la craie) est de l'ordre de 0,16% ; cette faible valeur traduit la bonne perméabilité des terrains crayeux dans la vallée de la Seine,
- par contre le niveau de Seine en amont du barrage de Port-Mort, à +12,4 m NGF, est supérieur à celui de la nappe en sortie de la vallée du Vau Chernal (au droit des ouvrages FE6-1 et Pz6-1). Dans ce cas, l'eau de Seine peut alimenter la nappe de la craie. On ne connaît pas la zone d'influence de cette alimentation (absence de carte piézométrique précise entre la Seine et le lieu-dit "Bois de la Catignolle").

4.4.2.3 Interprétation

Le tableau ci-après synthétise les mesures de niveau d'eau sur les différents ouvrages :

Tableau 8 Synthèse des mesures de niveaux d'eau au droit des différents ouvrages pendant le pompage de 72h au débit de 100 m³/h du 11 au 14/12/2005

Mesures du niveau d'eau réalisées du 11 au 14/12/2005				
Repère : hauteur approximative/sol	+1,15m/sol	+1,00m/sol	+0,50m/sol	+1,05/sol
Ouvrage	FE6-1	Pz6-1	SR6-1	FE5-1
Cote estimée du sol (m NGF)	+19,5	+19,1	+21	+36
Distance au FE6-1 (m)	-	17	198	1200
Niveau statique (m/repère)	11,30	10,78	11,56	17,14
Niveau dynamique après 72h de pompage au débit moyen de 100 m ³ /h	12,72	11,35	11,86	17,14
Rabattement (m)	1,42	0,57	0,30	0
Niveau d'eau après 6 h de remontée (m/repère)	11,49	11,00	11,75	17,14
Rabattement résiduel après 6 h de remontée (m)	0,19	0,22	0,19	0

Le débit, calé à 100 m³/h en début de test, est passé de 98 à 95 m³/h entre 19 et 20 h de pompage puis a été augmenté par la SADE à 100 m³/h. Ce débit de 100 m³/h s'est maintenu de 20 h jusqu'à la fin du test (annexe 16 : graphe d'enregistrement du débit).

L'enregistrement de la turbidité par la SADE a mis en évidence (annexe 17 : graphe d'enregistrement de la turbidité) :

- un pic à 20 NTU lors du démarrage de la pompe immergée à 12h00 le 11/12/05 qui est descendu progressivement en dessous de 1 NTU après 17 mn,
- un deuxième pic à 6 NTU à partir de 14h07 qui a mis beaucoup plus de temps pour s'estomper puisqu'il se termine brièvement à 8h34 le 12/12/05 : cette observation est liée à un artefact (problème lié au turbidimètre d'après le personnel de la SADE),
- un très léger pic à 0,5 NTU le 12/12/05 pendant 11mn,
- le pic à 1,3 NTU le 14/12/05 à 11h37 provient de la manipulation de la sonde lors de l'arrêt de l'enregistrement de la turbidité pour le prélèvement des échantillons d'eau par le laboratoire agréé,
- le pic à 14 NTU observé le 15/12/05 entre 8h13 et 8h20 correspond à un marche-arrêt de la pompe immergée réalisé par la SADE. Cette opération montre la turbidité de l'eau lors de la mise en route du prélèvement à 100 m³/h sur cet ouvrage.

Dans l'annexe 18 figurent l'hydrogramme enregistré sur le forage FE6-1, un zoom de ce graphe, l'hydrogramme obtenu sur le piézomètre Pz6-1 et, le tableau des mesures manuelles effectuées par la SADE avec une sonde piézométrique.

L'annexe 19 consigne les interprétations par la méthode d'approximation logarithmique de Jacob des mesures de niveau d'eau effectuées sur les différents ouvrages.

Le temps nécessaire pour être dans les conditions de Jacob est inférieur à 1 s, on peut donc appliquer cette formule.

On a évalué la durée théorique de l'effet de capacité à une dizaine de minutes.

Le tableau ci-après résume ces résultats.

Tableau 9 Résultats des interprétations du pompage de 72h à 100 m³/h sur FE6-1

Ouvrage	Courbe	FE6-1	Pz6-1	SR6-1
Transmissivité T (m ² /s)	Descente avant limite étanche	5,0.10 ⁻²	4,5.10 ⁻²	2,5.10 ⁻²
	Descente après limite étanche	2,5.10 ⁻²	2,2.10 ⁻²	-
	Remontée*	3,8.10 ⁻²	4,3.10 ⁻²	-
Emmagasinement S	Descente avant limite étanche	-	0,008	0,012
	Descente après limite étanche	-	0,14	-
Distance à la limite étanche (r' en m)	Descente	346	334	-

* : temps de mesure pas suffisamment long pour avoir des valeurs représentatives après un pompage de 72h on obtient peut-être une valeur intermédiaire

La diminution par deux de la valeur de transmissivité au droit du forage FE6-1 et Pz6-1 traduit une limite étanche sur le cône de rabattement du pompage sur le forage FE6-1.

Les deux massifs crayeux, probablement peu fissurés localisés de part et d'autre de la vallée du Vau Timel, pourraient contribuer à ce type de limite étanche.

Les valeurs de coefficient d'emmagasinement tendent à mettre en évidence l'état libre de la nappe de la craie.

On a calculé la distance de la limite étanche au forage FE6-1 puis au piézomètre Pz6-1 à partir des formules respectives :

$d = 0,75 \times \sqrt{(T \times t_i / S)}$ avec d la distance de la limite (en m), T la transmissivité (soit 5,0.10⁻² m²/s), S le coefficient d'emmagasinement (soit 0,008) et t_i le temps correspondant à l'intersection de la rupture de pente avec l'axe des abscisses (soit 34000 s) ;

$d' = 0,75 \times \sqrt{(t_i / t_o)}$ avec d' la distance de la limite (en m), r la distance au puits de pompage (soit 17 m), t_o le temps correspondant à l'intersection de la droite représentant la première transmissivité avec l'abscisse (22 s) et t_i le temps correspondant à la projection sur l'axe des abscisses du point fictif d'intersection des deux droites représentant les deux transmissivités (34 000 s).

Ces calculs donnent une distance à la limite étanche de l'ordre de 340 m des ouvrages FE6-1 et Pz6-1.

On a également calculé le rayon d'action fictif du pompage sur le forage FE6-1 pour un temps de 20 h avec la formule :

$R = 1,5 \times \sqrt{(T \times t / S)}$ avec R le rayon d'action fictif (en m), T la transmissivité (soit 5,0.10⁻² m²/s), S le coefficient d'emmagasinement (soit 0,008) et t le temps de pompage

On obtient par ce calcul un rayon d'action fictif de l'ordre de 1000 m.

Avec la courbe du rabattement au droit de chaque piézomètre (à 20 h de pompage) en fonction de la distance au forage FE6-1, le graphe s=f(Log d) fournit la valeur de 1400 m (annexe 20).

4.4.2.4 Simulation d'exploitation

On a réalisé une simulation analytique par la méthode d'approximation logarithmique de Jacob, à différents débits d'exploitation et au rythme de 24h/24 sur une période de 6 mois, afin d'appréhender le débit potentiel d'exploitation de cet ouvrage.

Parmi les paramètres nécessaires à la simulation analytique, on a retenu :

- transmissivité T : 0,025 m²/s,
- un niveau dynamique d'étiage : 11,35 m/repère soit 10,15 m/sol,
- l'équation de la courbe caractéristique actuelle (après acidification) du forage FE6-1 :
 $s = 1,18.10^{-2} \times Q + 1,05.10^{-4} \times Q^2$

Les résultats de cette simulation illustrés sur le graphe de l'annexe 21 montrent qu'un débit d'exploitation de l'ordre de 200 m³/h pourrait être envisagé, dans la mesure où la courbe caractéristique se poursuit dans les mêmes conditions qu'au débit maximal testé (soit 100 m³/h).

Cette simulation analytique ne tient pas compte :

- du vieillissement de l'ouvrage,
- des variations naturelles exceptionnelles du niveau de l'eau sous le sol,
- de l'amplification des rabattements causés par l'exploitation de forages proches,
- de la variation des propriétés hydrauliques dans toutes les directions et en tout point du réservoir (pas de variation d'épaisseur ni de nature),
- de la qualité des eaux exhaurées à ce débit.

D'autre part, les résultats de cette simulation ne fournissent que des informations hydrodynamiques sans qu'il soit possible de présager de résultat du point de vue qualitatif, notamment vis-à-vis de la turbidité.

4.4.2.5 Evaluation de l'aire d'alimentation, de la zone d'influence, de la zone d'appel du champ captant et, des courbes isochrones

4.4.2.5.1 Aire d'alimentation

L'aire d'alimentation ou bassin d'alimentation est la zone contribuant plus ou moins directement au rechargement de la nappe et donc à l'alimentation du champ captant. Cette aire comprend à la fois la zone d'influence, la zone d'appel et se situe hors de ces deux entités.

On considère que cette aire peut s'étendre sur le bassin versant hydrographique défini à partir de la carte hydrogéologique de l'Eure (document 3).

On obtient ainsi la carte de l'annexe 22 où figurent les lignes de partage des eaux superficielles, celles des eaux souterraines et les directions globales des écoulements souterrains.

La surface du bassin hydrographique est de l'ordre de 2560 ha alors que l'aire du bassin d'alimentation hydrogéologique atteindrait une surface de l'ordre de 1325 ha. Sur cette dernière, la surface occupée par la forêt (essentiellement la Forêt des Andélyls) représente environ 750 ha (soit environ 57% du bassin d'alimentation hydrogéologique).

Si on considère la pluie efficace moyenne de 280 mm mentionnée dans l'atlas hydrogéologique de l'Eure (document 3), le volume d'eau disponible serait en moyenne de l'ordre de 3,7 Mm³/an.

En tenant compte de la pluie efficace moyenne à la station météorologique de Tilly et celle des Andélyls, respectivement 264 et 242 mm/an, on obtient les volumes d'eau disponibles respectifs de 3,3 Mm³/an et 2,65 Mm³/an.

4.4.2.5.2 Zone d'influence

La zone d'influence est la zone dans laquelle les niveaux d'eau sont influencés donc rabattus par le pompage de l'exploitation du forage. Cette zone s'étend à la fois dans la zone d'appel et hors de la zone d'appel.

Lors du pompage d'essai de 72 h au débit moyen de 100 m³/h, on a observé un rabattement de 0,30 m sur l'ouvrage SR6-1 localisé à environ 200 m du forage FE6-1.

Par contre, le forage d'essai FE5-1, implanté à 1200 m en amont, n'a montré aucune fluctuation de son niveau statique au cours de ce pompage.

On a également approché le rayon d'action fictif d'un pompage de 20 h sur le captage FE6-1 par la formule d'approximation logarithmique de Jacob et par le graphique $s = f$ (log de la distance piézomètre-captage) et, on obtient respectivement 1000 m et 1400 m.

Le rayon d'action fictif de 1000 m correspond sensiblement à la distance du captage à la Seine. En revanche, le forage FE5-1 dont le niveau statique n'a pas fluctué pendant le pompage de 72 h se trouve à 1200 m du captage FE6-1, soit entre les deux valeurs de rayon d'action fictif.

4.4.2.5.3 Zone d'appel

La zone d'appel est la partie de la zone d'influence dans laquelle l'ensemble des lignes de courant se dirige vers le champ captant donc où l'eau est mobilisée. Elle est comprise dans l'aire d'alimentation du captage qui se prolonge en amont jusqu'à une limite du système.

Les dimensions du cône de rabattement, de la zone d'influence et de la zone d'appel, varient en fonction du débit de pompage.

La zone d'appel a une importance considérable parce que les polluants introduits dans cette zone sont susceptibles d'atteindre le captage.

Pour l'évaluation de cette zone d'appel, on a considéré la configuration des isopièzes de la carte hydrogéologique de l'Eure (document) mais en utilisant les valeurs piézométriques obtenues sur les différents ouvrages (FE6-1, Pz6-1, SR6-1 et FE5-1) à l'étiage 2005 avant pompage (annexe 23).

On s'est basé sur la formule de Theis pour le calcul du rabattement provoqué par le pompage au droit de l'ouvrage FE6-1. Le croisement de ces rabattements et de la piézométrie estimée à l'étiage 2005 avant pompage a permis d'appréhender la zone d'appel (annexe 23). L'aval de cette zone d'appel mériterait d'être précisé compte tenu du contexte semi-rural présent à l'aval (bourg de Port-Mort).

4.4.2.5.4 Courbes isochrones

On a défini les courbes d'égal temps de transfert en nappe (ou isochrones) de la migration horizontale d'un polluant vers le captage.

On a reporté sur la carte de l'annexe 24 les isochrones 10 et 50 jours pour un débit d'exploitation de 200 m³/h avec un rythme de 20h/24 (soit un débit moyen journalier de 167 m³/h) à partir de la méthode de Wyssling.

On a retenu les paramètres ci-après :

- épaisseur de l'aquifère, e : 40 m,
- transmissivité, T : 0,025 m²/s,
- gradient de la nappe, i : 1,2% en amont et 0,16% en aval,
- porosité efficace, n : 0,01,
- le débit d'exploitation, Q : 200 m³/h.

On obtient les résultats ci-après avec une ellipse représentée sur la carte de l'annexe 24 :

Tableau 10 Caractéristiques des isochrones

Caractéristiques de l'ellipse	10 jours	50 jours
Largeur de la zone d'appel (m)	155	155
Distance amont (m)	347	1644
Distance aval (m)	23	24
Largeur du front d'appel à hauteur du captage (m)	77,5	77,5

4.5 Remarques

Les trois observations ci-après modifient sensiblement le contexte hydrogéologique classique de l'aquifère crayeux sous alluvions:

- le rabattement de 0,30 m au droit du sondage SR6-1 après 72 h de pompage à 100 m³/h ; cet ouvrage se situe à 200 m et paraît implanter dans la vallée de la Seine,
- la Seine en amont du barrage de Port-Mort est à une cote de +12,4 m NGF soit environ 3 m au-dessus de la cote de l'eau au droit du forage FE6-1 et du sondage SR6-1,
- le rayon d'action fictif du pompage sur le forage FE6-1 s'étend entre 1000 et 1400 m et pourrait donc englober la Seine, localisée à 1000 m.

L'eau de la Seine alimente la nappe des alluvions aux abords du fleuve (cf. schéma hydrogéologique de l'annexe 15). Ce phénomène contribue à changer la configuration des isopièzes de la nappe des alluvions.

L'étendue de cette alimentation en terme de piézométrie n'est a priori pas connue. Par ailleurs, dans ce cas de figure, la nappe des alluvions peut alimenter celle de la craie qui d'ordinaire est drainée par la Seine.

Le prélèvement de 200 m³/h au rythme de 20h/24 (soit un volume annuel de 1,46 Mm³) au droit de ce champ captant conduirait à mobiliser environ 55% de la pluie efficace (en retenant la plus petite moyenne observée dans le secteur soit celle obtenue au droit de la station des Andély) sur le bassin versant hydrogéologique en amont du champ captant.

Par contre, dans ces conditions d'exploitation le champ captant prélèvera seulement 44% si on tient compte de la pluie efficace moyenne observée à Tilly.

Cette proportion d'alimentation du bassin hydrogéologique est probablement réduite par une partie de l'alimentation en provenance de la vallée de la Seine.

4.6 Qualité des eaux souterraines

Les résultats des analyses effectuées sur les échantillons prélevés après 72 h de pompage à 100 m³/h sur le forage FE6-1, fournis par le laboratoire SGS de Rouen sont consignés dans l'annexe 25.

Ils apportent les renseignements suivants :

- la très faible teneur en nitrates de l'eau : inférieure à 9 mg/l,
- des teneurs en pesticides analysés inférieures au seuil de détection,
- la bonne qualité bactériologique de l'eau,
- une turbidité de 0,41 NTU,
- un pH de 7,44 unité pH,
- une eau moyennement minéralisée (conductivité de 534 µS/cm),
- une teneur en manganèse et en fer inférieure au seuil de détection, soit 10 µg/l,
- le faciès est de type bicarbonaté calcique (cf. diagramme de Piper en annexe 25 ; on remarque le faciès identique avec les captages de la collectivité dans la vallée de la Seine, excepté la nuance vis-à-vis des captages "Verte Bonne" et "Val Corbon" qui présente des teneurs élevées en nitrates).

L'eau exhaurée montre a priori des signes de très bonne qualité physico-chimique et bactériologique.

On note la présence d'ammonium avec une teneur de 0,04 mg/l et une teneur en Carbone Organique Total de 0,72 mg/l et, des fluorures à 100 µg/l.

La teneur en nitrates observée en 2001, à 10 mg/l, lors de la réalisation du pompage de 4 h à 110 m³/h sur le forage FE5-1 est proche de celle observée en décembre 2005 (< 9 mg/l).

La pérennité de cette bonne qualité des eaux souterraines ne pourra être assurée qu'à partir du moment où les activités développées actuellement sur le bassin versant hydrogéologique continuent dans le respect de l'exploitation de la ressource en eau à l'exutoire.

5 Définition du champ captant

Trois hypothèses s'offrent au Maître d'ouvrage pour la conception de ce champ captant. Elles sont présentées ci-après en plus des consignes d'exploitation et de surveillance.

5.1 Maintien du forage FE6-1 comme forage de production

La collectivité garde le forage d'essai FE6-1 comme captage de production.

Il faut pour cela s'assurer de l'adéquation entre le dimensionnement du groupe électropompe à mettre en place et l'espace disponible dans l'ouvrage ($\varnothing_{\text{intérieur}}$ de 230 mm).

On rappelle qu'en plus de la pompe immergée il faut absolument garder un espace pour positionner le tube guide sonde ($\varnothing_{\text{intérieur}}$ de 25 mm) nécessaire aux mesures de niveau d'eau

D'autre part, si l'espace disponible pour le passage de la pompe immergée est exigu, il faut s'assurer de l'absence de jonction entre la pompe et le tubage en acier du forage. La mise en place de centreur non métallique permettra d'éviter "l'effet de pile" entre le tubage et le corps de pompe.

On souligne que cet ouvrage n'a été testé qu'à 100 m³/h et qu'il est impossible d'évaluer la réponse du système aquifère vis-à-vis de la turbidité de l'eau lors d'un pompage au débit de 200 m³/h sur ce même ouvrage.

5.2 Création d'un captage de production

L'exiguïté du forage d'essai pour la mise en place correcte des équipements hydrauliques pourrait imposer à la collectivité de créer un captage de production à proximité du forage d'essai FE6-1.

Ce projet devra tenir compte de plusieurs facteurs du contexte hydrogéologique et notamment :

- de la zone d'infiltration préférentielle localisée à une vingtaine de mètres au nord du forage FE6-1 (zone ayant servi à l'infiltration des eaux de nettoyage qui s'évacuait probablement au niveau du banc de silex sans liant),
- des venues d'eau localisées principalement en profondeur, au sein de la formation du Cénomaniens,
- des possibles arrivées d'eau situées en surface de la formation crayeuse à proximité de la surface de la nappe de la craie.

Nous préconisons au Maître d'ouvrage une conception d'ouvrage sensiblement identique à celle réalisée pour le forage d'essai mais à proximité immédiate de ce dernier pour retrouver les mêmes conditions de fracturation (soit à 5 à 8 mètres du FE6-1).

Par contre, il ne faut pas écarter non plus le risque de turbidité dans ce cas d'ouvrage plus conséquent permettant d'installer un équipement hydraulique permettant de développer un débit de 150 voire 200 m³/h.

5.3 Création d'un champ captant composé de deux ouvrages

La collectivité pourrait s'orienter vers la création d'un champ captant composé de deux ouvrages.

Cette conception pourrait répondre au besoin de prélever un débit supérieur aux 200 m³/h disponible au droit du forage FE6-1 afin d'obtenir par exemple 2 fois 150 m³/h (donc un groupe électropompe de diamètre moindre), voire deux fois 100 m³/h si on veut réduire les risques de turbidité de l'eau lors de chaque démarrage du pompage d'exploitation.

On recommande au Maître d'ouvrage le secteur représenté par le sondage SR6-1 qui pourrait s'avérer intéressant pour réaliser un forage d'essai avant de créer un captage de production sans qu'il soit possible de présager du résultat final au droit de cet ouvrage (aussi bien du point de vue qualitatif que quantitatif).

En effet, au droit de ce sondage, les indices obtenus en foration (cuttings et débit à l'avancement) laissent supposer une ressource en eau intéressante.

Dans la mesure où deux ouvrages avec un débit potentiel de 150 m³/h composeraient le champ captant, le prélèvement total annuel représenterait 83% du volume d'eau infiltrée sur les 1325 ha du bassin d'alimentation hydrogéologique (en tenant compte de la pluie efficace moyenne observée à la station météorologique des Andélyls).

Le rabattement additionnel imposé par chaque captage (en supposant que des conditions hydrodynamiques sensiblement équivalentes soient observées au droit du SR6-1) serait inférieur au mètre.

5.4 Consignes d'exploitation et de surveillance

5.4.1 Consignes d'exploitation

Compte tenu :

- qu'il n'existe pas de chambre de pompage,
- du rabattement d'environ 2 m pour un débit de 100 m³/h après 6 mois d'exploitation ou d'environ 6 m à 200 m³/h après 6 mois d'exploitation (soit un niveau dynamique vers 16 m/sol) dans des conditions d'étiage sévères,

la crépine d'aspiration de la pompe immergée pourrait être installée au pied du tube plein soit 17 m/sol (cf. coupe technique en annexe 9).

Des sondes de "sécurité manque d'eau" seront installées au-dessus de la pompe immergée.

Le problème de turbidité au démarrage pourra être résolu par une des solutions ci-après :

- par une mise en décharge de l'eau prélevée dès le début du pompage au préalable à toute alimentation du réseau d'adduction (électrovanne asservie à un turbidimètre),
- par la mise en place d'une pompe immergée à variateur permettant de faire varier le débit: le démarrage du pompage avec un débit faible puis une augmentation progressive du débit devrait contribuer à minimiser la turbidité de l'eau extraite de l'aquifère,
- par un traitement des eaux avant l'alimentation de l'adduction.

5.4.2 Consignes de surveillance

Il conviendra, pour une meilleure gestion des ouvrages de production, d'assurer un suivi du régime d'exploitation de ces captages qui se définit en cinq points :

a) Chaque forage devra être muni :

- d'un compteur volumétrique correctement positionné et dimensionné,
- d'un turbidimètre,
- d'un tube guide sonde ouvert et descendu jusqu'au niveau de la pompe,
- éventuellement d'un piège à sables.

b) Pourquoi prendre des mesures dans les forages ?

- pour connaître la production par forage et donc la production totale,
- pour suivre l'évolution du forage :
 - . vieillissement par colmatage,
 - . vieillissement par remplissage du fond,
 - . entraînement de sables.
- apprécier l'état des ressources en eau souterraine :
 - . remontée plus ou moins importante du niveau piézométrique en fonction de la recharge,
 - . abaissement régional du niveau des eaux souterraines sous l'effet des prélèvements,
 - . interférences entre ouvrages proches.

c) Quelles sont les mesures à réaliser ?

- relevé du volume d'eau exhaurée et du compteur électrique,
- le débit instantané avec le niveau dynamique associé,
- éventuellement le niveau statique lorsque la pompe est à l'arrêt et la quantité de sables récupérés dans le piège à sables en sortie d'aspiration,
- profondeur de l'ouvrage lorsque la pompe est remontée.

Chacune de ces mesures doit être accompagnée d'une date et d'éventuelles observations.

d) Comment réaliser les mesures ?

- niveau de l'eau :
 - . avec une sonde électrique plongée dans le tube guide sonde,
 - . la mesure doit toujours être réalisée par rapport à un repère fixe préalablement défini,

- fond du forage :
 - . avec un câble métré et avec un lest
 - . mesure par rapport au même repère que pour le niveau d'eau
- noter le volume lu sur les compteurs volumétrique et électrique
- calculer le débit instantané sur une minute

e) Quand réaliser ces mesures ?

- deux fois par mois
- lorsque la pompe est retirée du forage, pour la profondeur de l'ouvrage.

Toutes ces données serviront à construire un graphique qui illustre l'évolution sur un forage :

- des niveaux statiques,
- des débits instantanés prélevés,
- des débits spécifiques (débit instantané/rabatement).

Ce graphique permet d'apprécier l'état du forage et de la nappe. Par exemple, une baisse du débit spécifique en l'absence d'une baisse conséquente du niveau statique, est le témoin d'une détérioration de l'ensemble forage-pompe. La présence de plus en plus importante de sables et/ou de graviers du massif filtrant annonce un dépérissement du forage.

Ce suivi régulier doit permettre au gestionnaire de diagnostiquer toute anomalie.

6 Synthèse

Dans le cadre d'une recherche en eau précédente réalisée par le BET Gaudriot sur la période 2001 à 2004, plusieurs zones avaient été retenues pour mobiliser la nappe de la craie.

Sept sondages mécaniques et un forage d'essai ont testé la zone n°5 sur la commune de Port-Mort. Cette zone se situe dans une vallée sèche, en bordure de la vallée de la Seine. Des résultats encourageants avaient été obtenus.

Cependant, les horizons producteurs d'eau étaient proches de la surface de la nappe de la craie et laissaient penser à une diminution de la ressource en eau lors d'une période d'étiage sévère. Le Maître d'ouvrage n'a pas encore souhaité tester cette ressource à l'étiage 2005.

Toutefois, d'après le suivi de la surface de la nappe au droit du forage FE5-1, on a constaté que le niveau d'eau se situait en dessous des premières arrivées d'eau de surface. Cette observation tend à émettre l'hypothèse que les venues d'eau superficielles seraient rapidement dénoyées en cas de pompage.

La Communauté de Communes Eure - Madrie - Seine a confié à Archambault Conseil le suivi hydrogéologique de trois sondages de reconnaissance en eau et du forage d'essai sur la zone n°6 localisés sur la commune de Port-Mort, juste en bordure de la vallée de la Seine à 1200 m en aval de la vallée sèche où fut testée la zone 5.

Le forage d'essai a été réalisé au droit du sondage de reconnaissance qui présentait le débit estimé le plus important au soufflage à l'avancement, soit au droit du SR6-3.

Par contre les trois sondages ont montré des échantillons de terrains avec des traces d'oxydation qui témoignent de circulation d'eau souterraine.

Tous les tests hydrauliques réalisés sur les ouvrages ont été exécutés dans un contexte d'étiage sévère.

En effet, pendant ces tests le niveau d'eau atteint au droit du piézomètre de référence surveillant la nappe de la craie à Farceaux correspondait au second niveau le plus critique observé (le niveau le plus bas ayant été mesuré en novembre 1992).

Ce forage FE6-1 mobilise l'aquifère crayeux entre 17 et 50 m de profondeur. Avant les deux traitements à l'acide, la majorité de l'eau provenait de la tranche crayeuse basale du Cénomaniens, pour une sollicitation à 50 m³/h.

La productivité a nettement augmenté suite au développement par acidification.

En effet, le débit spécifique de l'ouvrage est passé de 12 à 88 m³/h/m de rabattement pour un débit de 100 m³/h. La valeur après développement est du même de grandeur que celle observée sur les autres captages de la collectivité.

Le débit critique de l'ouvrage FE6-1 est nettement supérieur à 100 m³/h.

Avant le développement, la courbe caractéristique n'a pas montré d'inflexion lors du quatrième palier à 100 m³/h alors que le niveau dynamique se situait à plus d'un mètre sous la base du tube plein de tête. A priori la tranche crayeuse superficielle ne fournissait pas ou peu d'eau.

Après développement, l'équation de la courbe caractéristique s'écrit :

$$s = 1,18.10^{-2} \times Q + 1,05.10^{-4} \times Q^2 \text{ avec}$$

s le rabattement en mètre, Q le débit en m³/h et, a le coefficient des pertes de charge linéaires et b le coefficient des pertes de charge quadratiques.

Le pompage d'essai de 72 h au débit moyen de 100 m³/h a permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe au droit des ouvrages, présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 11 Synthèse des paramètres hydrodynamiques au droit des ouvrages

Ouvrage	Courbe	FE6-1	Pz6-1	SR6-1
Transmissivité T (m ² /s)	Descente avant limite étanche	5,0.10 ⁻²	4,5.10 ⁻²	2,5.10 ⁻²
	Descente après limite étanche	2,5.10 ⁻²	2,2.10 ⁻²	-
	Remontée*	3,8.10 ⁻²	4,3.10 ⁻²	-
Emmagasinement S	Descente avant limite étanche	-	0,008	0,012
	Descente après limite étanche	-	0,14	-
Distance à la limite étanche (r' en m)	Descente	346	334	-

Tableau 12 Synthèse des observations sur les ouvrages pendant le pompage de 72 h à 100 m³/h sur FE6-1

Mesures du niveau d'eau réalisées du 11 au 14/12/2005				
Repère : hauteur approximative/sol	+1,15m/sol	+1,00m/sol	+0,50m/sol	+1,05 m/sol
Ouvrage	FE6-1	Pz6-1	SR6-1	FE5-1
Cote estimée du sol (m NGF)	+19,5	+19,1	+21	+36
Distance au FE6-1 (m)	-	17	198	1200
Niveau statique (m/repère)	11,30	10,78	11,56	17,14
Niveau dynamique après 72h de pompage au débit moyen de 100 m ³ /h	12,72	11,35	11,86	17,14
Rabattement (m)	1,42	0,57	0,30	0
Niveau d'eau après 6 h de remontée (m/repère)	11,49	11,00	11,75	17,14
Rabattement résiduel après 6 h de remontée (m)	0,19	0,22	0,19	0

La cote de la surface de la nappe de la craie au droit de la zone n°6 est comprise entre +9 et +10 m NGF.

On signale que celle de la Seine en amont du barrage de Port-Mort se trouve à +12,4 m NGF alors qu'elle se situe à +8,3 m NGF à l'aval du barrage.

Le niveau dynamique admissible à retenir est de 17 m/sol, soit un rabattement admissible de l'ordre de 6,8 m dans les conditions hydrauliques des tests.

On a retenu les paramètres ci-après pour les simulations analytiques du niveau d'eau dans l'ouvrage FE6-1 en fonction de différents débits d'exploitation :

- transmissivité T : 0,025 m²/s,
- un niveau dynamique d'étiage : 10,15 m/sol,
- en supposant que l'équation de la courbe caractéristique actuelle du forage FE6-1 n'est pas modifiée au-delà du débit maximal testé (soit 100 m³/h) :

$$s = 1,18.10^{-2} \times Q + 1,05.10^{-4} \times Q^2$$

Un champ captant pourrait produire un débit de 200 m³/h sur la ressource en eau mobilisée.

Cette simulation analytique ne tient pas compte :

- du vieillissement de l'ouvrage,
- des variations naturelles exceptionnelles du niveau de l'eau sous le sol,
- de l'amplification des rabattements causés par l'exploitation de forages proches,
- de la variation des propriétés hydrauliques dans toutes les directions et en tout point du réservoir (pas de variation d'épaisseur ni de nature),

En l'absence d'équation de la courbe caractéristique au-delà de 100 m³/h, on pense qu'un débit de 150 m³/h pourrait raisonnablement être exploité sur le forage FE6-1.

Un champ captant produisant 200 m³/h avec un rythme de 20h/24 prélèverait 1,46 Mm³/an. Ce volume représente environ 55% de la pluie efficace (moyenne observée à la station des Andélyls) sur le bassin d'alimentation hydrogéologique. Ce dernier s'étend sur 1325 ha dont 57% sont occupés par la forêt. Cette couverture végétale assure en partie une bonne protection de la ressource. Pour un prélèvement de 150 m³/h au rythme de 24h/24, ce volume passerait à 1,1 Mm³/an, soit 42% du volume d'eau qui alimente en moyenne le bassin versant hydrogéologique.

Dans la mesure où deux captages seraient envisagés, le volume d'eau produit annuellement représenterait donc 84% de l'alimentation de ce bassin.

Les eaux prélevées après 72 h de pompage à 100 m³/h sont bonnes à la consommation humaine aussi bien du point de vue physico-chimique que bactériologique.

Les eaux possèdent un faciès bicarbonaté calcique comme celui observé sur les autres captages de la collectivité et, sont moyennement minéralisées. Les teneurs en fer et en manganèse sont inférieures au seuil de détection.

On note des teneurs inférieures au seuil de détection pour les pesticides analysés et une teneur en nitrates inférieure à 9 mg/l (soit inférieure à celle mesurée en 2001 sur le forage FE5-1). La turbidité était de 0,41 NTU en fin de pompage.

En revanche, la turbidité a montré des pics au cours de ce pompage d'essai de longue durée, notamment au démarrage : un premier très bref jusqu'à 20 NTU. Cette turbidité est également confirmée par l'opalescence de l'eau observée pendant quelques minutes au cours du second pompage par paliers de débit croissant (après acidification). Aucun dépôt limoneux n'a été observé après décantation dans le récipient d'eau prélevée au 4^{ème} palier de débit à 100 m³/h.

Ce phénomène a également été confirmé suite à un marche-arrêt après la fin de la remontée du niveau d'eau.

Le potentiel élevé de ressource en eau au droit de la zone n°6, avec une bonne qualité des eaux puisqu'il y a absence de signature de pollution diffuse, ne permet pas de présager l'évolution de la turbidité de l'eau au-delà de 100 m³/h sur le site 6-1 (FE6-1) et au droit même du site 6-2 (SR6-1).

Le problème de turbidité au démarrage pourra être résolu par une des solutions ci-après :

- par une mise en décharge de l'eau prélevée dès le début du pompage au préalable à toute alimentation du réseau d'adduction (électrovanne asservie à un turbidimètre),
- par la mise en place d'une pompe immergée à variateur permettant de faire varier le débit: le démarrage du pompage avec un débit faible puis une augmentation progressive du débit devrait contribuer à minimiser la turbidité de l'eau rapidement extraite de l'aquifère,
- par un traitement des eaux avant l'alimentation de l'adduction.

La création d'un éventuel captage sur le site du sondage de reconnaissance SR6-1 devra passer au préalable par un forage d'essai (avec la possibilité d'être testé à un débit de 150 m³/h), avec des profils de productivité (avant et après traitement) puis par une modélisation hydrodynamique.

Quel que soit la consistance du champ captant, il serait également plus prudent de réaliser une campagne piézométrique sur la commune de Port-Mort afin d'appréhender la limite d'influence de l'alimentation par la Seine en amont du barrage de Port-Mort et, la zone d'appel de l'ouvrage exploité sur le site 6-1.

Philippe BARON

Bastien OLLAGNE

Document 1 : BRGM : Carte géologique Les Andélys (n°124) au 1/50 000

Document 2 : IGN : Carte topographique au 1/25 000 de la Forêt de Bord-Louviers (n°2012 OT)

Document 3 : BRGM : Atlas hydrogéologique de l'Eure, 1989

Document 4 : BRGM : Dossier technique de la Banque des données du Sous-Sol

Document 5 : GAUDRIOT : Recherche d'eau dans la vallée de la Seine - Phase 1 - Recherche des sites favorables et propositions d'implantation des sondages de reconnaissance - Ville de Gaillon - Septembre 2000

Document 6 : GAUDRIOT : Recherche d'eau en rive droite de la Seine - Commune de Gaillon - Dossier de déclaration de pompage dans une nappe d'eau souterraine et de rejet dans un cours d'eau, janvier 2005

Document 7 : GAUDRIOT : Réunion de présentation des résultats - Aubevoye, 10/02/2004 - Recherche d'une nouvelle ressource en eau potable en rive droite de la Seine

Document 8 : Communauté de communes Eure – Madrie - Seine : Compte rendu de la réunion du 20/10/2004 – Point dossier recherche en eau Port-Mort

- annexe 1 : Localisation des ouvrages sur les différents sites de recherche (sur fond de plan géologique)
- annexe 2 : Localisation des ouvrages sur les différents sites de recherche (sur fond de plan topographique)
- annexe 3 : Localisation des ouvrages sur le site de recherche n°6 (sur fond de plan cadastral)
- annexe 4 : Implantation des ouvrages de la zone n°5
- annexe 5 : Courbes caractéristiques établies sur le forage d'essai FE5-1
- annexe 6 : Résultats du pompage d'essai de 4 h à 110 m³/h sur le forage d'essai FE5-1
- annexe 7 : Qualité des eaux exhaurées au droit du captage de Notre Dame à Pressagny-le-Val
- annexe 8 : Suivi piézométrique opéré sur le piézomètre Pz5-1 de décembre 2002 à février 2003
- annexe 9 : Coupes techniques et lithostratigraphiques des ouvrages FE6-1 et Pz6-1
- annexe 10 : Log de productivité réalisé avec un micromoulinet sur le forage d'essai FE6-1
- annexe 11 : Hydrogramme et courbe caractéristique établis à partir des résultats de l'essai de puits du 02/12/2005 sur le forage FE6-1
- annexe 12 : Hydrogramme et courbe caractéristique établis à partir des résultats de l'essai de puits du 09/12/2005 sur le forage FE6-1
- annexe 13 : Comparaison des courbes caractéristiques avant et après le développement par acidification
- annexe 14 : Caractéristiques du piézomètre de Farceaux de l'Agence de l'Eau Seine – Normandie - Chronique du niveau de l'eau au droit de ce piézomètre – Zoom sur la fin de cette chronique
- annexe 15 : Coupe hydrogéologique schématique de la Seine à la zone n°5 en passant par la zone n°6
- annexe 16 : Graphe d'évolution du débit en fonction du temps enregistré au cours du pompage d'essai de 72 h au débit de 100 m³/h sur le FE6-1
- annexe 17 : Graphe d'évolution de la turbidité en fonction du temps enregistré au cours du pompage d'essai de 72 h au débit de 100 m³/h sur le FE6-1
- annexe 18 : Graphes d'évolution des niveaux de l'eau sur le FE6-1 (et un zoom) et le Pz6-1 en fonction du temps enregistrés au cours du pompage d'essai de 72 h au débit de 100 m³/h sur le FE6-1 – Tableau des mesures manuelles opérées sur les ouvrages
- annexe 19 : Interprétations sur les courbes de descente et/ou de remontée du niveau d'eau observé sur les ouvrages : SR6-1, Pz6-1 et FE6-1
- annexe 20 : Détermination graphique du rayon d'action fictif provoqué par le pompage de 100 m³/h sur le forage FE6-1
- annexe 21 : Simulations analytiques de l'évolution du niveau d'eau soumis à différents débits d'exploitation
- annexe 22 : Limite du bassin versant hydrographique et du bassin d'alimentation hydrogéologique en amont de la zone n°6
- annexe 23 : Carte piézométrique (approchée) à l'étiage 2005 – Evaluation de la zone d'appel du pompage sur le forage FE6-1
- annexe 24 : Définition des isochrones à 10 j et à 50 j

annexe 25 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques sur l'eau prélevée à la fin du pompage de 72 h – Diagramme de Piper de l'eau du forage FE6-1

ANNEXES

ANNEXE 1

ANNEXE 2

ANNEXE 3

ANNEXE 4

ANNEXE 5

ANNEXE 6

ANNEXE 7

ANNEXE 8

ANNEXE 9

ANNEXE 10

ANNEXE 11

ANNEXE 12

ANNEXE 13

ANNEXE 14

ANNEXE 15

ANNEXE 16

ANNEXE 17

ANNEXE 18

ANNEXE 19

ANNEXE 20

ANNEXE 21

ANNEXE 22

ANNEXE 23

ANNEXE 24

ANNEXE 25
