

Document public



Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique et analyse qualitative de la nappe d'eau souterraine de Schoelcher- Case Navire : pompages d'essais sur le forage 1177ZZ0078 – CNF1

Rapport final

BRGM/RP-55458-FR

Juin 2007



Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique et analyse qualitative de la nappe d'eau souterraine de Schoelcher-Case Navire : pompages d'essais sur le forage 1177ZZ0078 – CNF1

Rapport final

BRGM/RP-55458-FR

Juin 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 EAUD10

S. Ollagnier, A. Brugeron, B. Vittecoq

Avec la collaboration de :

V. Petit

Vérificateur :

Nom : JP. Comte

Date : 19.07.2007

Approbateur :

Nom : JP. Comte

Date : 19.07.2007

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : Pompage d'essai, essai de puits, piézométrie, isochrone

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

S. Ollagnier, A. Brugeron, B. Vittecoq, V. Petit (2007) – Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique et analyse qualitative de la nappe d'eau souterraine de Schoelcher-Case Navire. BRGM/RP-55458-FR, XX p., XX ill., XX ann.

Synthèse

La ressource en eau potable de la CACEM est déficitaire en période de Carême. Ceci a pour effet d'engendrer de fréquentes coupures d'eau à cette période de l'année, notamment sur la commune de Schoelcher. Le secteur de Case Navire, sur cette même commune, a fait l'objet d'investigations hydrogéologiques entre 1973 et 1992, à la demande de la municipalité de Schoelcher. Malgré le potentiel mis en évidence par le BRGM à l'époque, ces investigations n'avaient pas donné suite.

En 2006, la CACEM a souhaité reprendre les investigations sur ce secteur. L'objectif était de finaliser la **caractérisation hydrodynamique de la nappe de Case Navire** et de définir son **potentiel pour l'AEP d'un point de vue quantitatif et qualitatif**.

Dans ce cadre, des pompages d'essai ont été réalisés en saison des pluies 2006 et en saison sèche 2007. Les résultats, couplés aux données provenant d'études antérieures mettent en évidence le **caractère semi captif de la nappe ainsi qu'une limite alimentée attribuée au cours d'eau de Case-Navire**. Ces éléments, combinés aux résultats des essais de puits réalisés antérieurement permettent d'évaluer **le débit optimal d'exploitation de l'ouvrage CNF1 à 35 m³/h**. Ceci qui représenterait un **apport supplémentaire d'environ 700 m³/jour**.

Afin d'évaluer la vulnérabilité du captage à la pollution, l'extension de la zone d'appel de l'ouvrage a été estimée en croisant les résultats d'une approche mathématique avec les données structurales de l'aquifère concerné par le captage. Un calcul des temps de transferts potentiels au sein de la nappe a été réalisé. Celui-ci a ainsi permis de positionner l'isochrone correspondant à un temps de transfert de 50 jours. Les vitesses de transferts rivière/ouvrage ont également été calculées.

Les résultats de cette démarche montrent que la nappe étudiée présente une certaine vulnérabilité compte tenu de ses relations avec la rivière « Case Navire » à une hauteur qu'il conviendrait de préciser.

Les nombreuses analyses d'eau effectuées dans l'ouvrage CNF1 depuis les années 1980 montrent cependant **l'aptitude du forage CNF1 à être exploité pour l'alimentation en eau potable sous réserve d'un traitement pour les seuls éléments Fer et Manganèse**.

A l'issue de l'étude des pompages d'essai réalisés et des analyses qualitatives de l'eau, il n'y **pas d'apparente contre-indication à utiliser l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078) comme captage pour l'alimentation en eau potable sous réserve de mise en œuvre des procédures réglementaires d'autorisation** et de l'instauration d'un suivi qualitatif des eaux de la rivière Case-Navire en amont du forage CNF1.

Sommaire

1. Cadre général de l'étude.....	9
1.1. HISTORIQUE DES RECHERCHES D'EAU SOUTERRAINE SUR LE SECTEUR DE CASE NAVIRE	10
1.1.1. Etudes et travaux réalisés en 1973	10
1.1.2. Etudes et travaux réalisés en 1987	10
1.1.3. Etudes et travaux réalisés entre 1989 et 1990	11
1.1.4. Suivi piézométrique des ouvrages réalisé par le BRGM	12
1.2. CADRE GEOLOGIQUE	12
1.3. EXTENSION DE LA NAPPE ET ZONES D'ALIMENTATION	15
1.3.1. Formations aquifères	15
1.3.2. Définition des zones d'alimentation	15
2. Pompages d'essais – Protocole et interprétation.....	17
2.1. PROTOCOLE MIS EN OEUVRE.....	17
2.1.1. Présentation du réseau d'acquisition de données	17
2.1.2. Mise en œuvre et suivi des pompages effectués.....	18
2.1.3. Méthodes d'interprétation des pompages d'essais.....	18
2.2. ESSAI DE PUIITS PAR PALIERS DE DEBIT.....	19
2.2.1. Pertes de charges quadratiques (turbulentes) de l'ouvrage CNF1	21
2.2.2. Evaluation du débit critique de l'ouvrage CNF1	22
2.3. INTERPRETATION DU POMPAGE DE LONGUE DUREE EN SAISON HUMIDE	23
2.3.1. Ouvrage CNF1 (1177ZZ0078).....	24
2.3.2. Ouvrage CNF2 (1177ZZ0165).....	27
2.4. POMPAGE DE LONGUE DUREE EN SAISON SECHE	28
2.4.1. Ouvrage CNF1 (1177ZZ0078).....	28
2.4.2. Ouvrage CNS2 (1177ZZ0079)	30
2.4.3. Ouvrage Z165 (1177ZZ0165).....	32
2.5. SYNTHESE DES POMPAGES D'ESSAIS DE LONGUE DUREE	34
2.5.1. Paramètres hydrodynamiques de la nappe	34
2.5.2. Conditions aux limites de la nappe	34

2.6. DEBITS EXPLOITABLES SUR L'OUVRAGE CNF1	36
2.6.1. Débit instantané exploitable	36
2.6.2. Débit moyen annuel exploitable	36
3. Cartes piézométriques du site	37
3.1. CARTE PIEZOMETRIQUE EN REGIME PERMANENT	37
3.2. CARTE PIEZOMETRIQUE EN SITUATION DE POMPAGE	39
4. Zone d'appel du captage et calcul des temps de transferts (isochrones)	41
4.1. APPROCHE THEORIQUE	42
4.1.1. Principes et solution analytique de la méthode utilisée	42
4.1.2. Application de la solution analytique	44
4.2. TRACE DE LA ZONE D'APPEL ET DE L'ISOCHRONE A 50 JOURS	47
4.3. VITESSES DE TRANSFERTS RIVIERE/NAPPE	48
5. Analyses de la qualité de l'eau	51
5.1. DONNEES DISPONIBLES	51
5.2. RESULTATS ET INTERPRETATION	51
5.2.1. Critères d'évaluation	51
5.2.2. Résultats des analyses	52
6. Conclusion	59
7. Références bibliographiques	61

Liste des illustrations

<i>Illustration 1 : Localisation des ouvrages et des coupes sur la carte géologique au 1/50000 (BRGM, 1990)</i>	<i>13</i>
<i>Illustration 2 : Coupes géologiques schématiques transversales et longitudinales dans le secteur de Case Navire</i>	<i>14</i>
<i>Illustration 3 : Présentation des forages et piézomètres suivis</i>	<i>17</i>
<i>Illustration 4 : Synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078</i>	<i>20</i>
<i>Illustration 5 : Courbes rabattements spécifiques / débits issues des essais par paliers de 1973 et 1987 / comparaison avec les données provenant des pompages d'essais de 2006 et 2007</i>	<i>21</i>

<i>Illustration 6 : Courbes caractéristiques de l'ouvrage CNF1 tracées à partir des essais par paliers de 1973 et 1987.....</i>	<i>22</i>
<i>Illustration 7 : Courbe des débits durant le pompage d'essai de longue durée en saison humide.....</i>	<i>23</i>
<i>Illustration 8 : Graphiques d'interprétation du pompage d'essai en saison humide au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078-CNF1.....</i>	<i>25</i>
<i>Illustration 9 : Evolution des rabattements enregistrés sur l'ouvrage CNF1 pendant l'intégralité du pompage.....</i>	<i>26</i>
<i>Illustration 10 : Côtes piézométriques piézométriques (m NGM) enregistrées sur l'ouvrage CNF2.....</i>	<i>27</i>
<i>Illustration 11 : Graphique d'interprétation du pompage d'essai en saison sèche au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078-CNF1.....</i>	<i>29</i>
<i>Illustration 12 : Graphique d'interprétation du pompage d'essai en saison sèche sur l'ouvrage 1177ZZ0079-CNS2.....</i>	<i>31</i>
<i>Illustration 13 : Graphique d'interprétation du pompage d'essai en saison sèche au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0165-Z165.....</i>	<i>33</i>
<i>Illustration 14 : Synthèse et historique des résultats des pompages d'essais réalisés sur les ouvrages du secteur de Case Navire.....</i>	<i>35</i>
<i>Illustration 15 : Esquisse de carte piézométrique en régime permanent du secteur de Case Navire (Avril 2007).....</i>	<i>38</i>
<i>Illustration 16 : Esquisse piézométrique de la nappe en régime influencé – Situation de basses eaux – saison sèche – 27 avril 2007.....</i>	<i>39</i>
<i>Illustration 17 : Esquisse piézométrique de la nappe en régime influencé – situation de hautes eaux – saison des pluies 2006.....</i>	<i>40</i>
<i>Illustration 18: Représentation de l'aire d'alimentation et des isochrones déterminées par solution analytique.....</i>	<i>42</i>
<i>Illustration 19: Tableaux des valeurs de d (en m) suivant les valeurs de transmissivité, de porosité efficace et de débit de pompage.....</i>	<i>46</i>
<i>Illustration 20 : Aire d'alimentation du puits et isochrone 50 jours.....</i>	<i>47</i>
<i>Illustration 21 : Schéma simplifié des relations nappe/rivière au droit de l'ouvrage CNF1.....</i>	<i>48</i>
<i>Illustration 22 : Classes d'aptitudes à la production d'eau potable.....</i>	<i>51</i>
<i>Illustration 23 : Résultats d'analyses concernant les teneurs en « Fer et Manganèse ».....</i>	<i>52</i>
<i>Illustration 24 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « micro-organismes ».....</i>	<i>53</i>
<i>Illustration 25 : Résultats des analyses concernant la « minéralisation et la salinité ».....</i>	<i>54</i>
<i>Illustration 26 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « nitrates ».....</i>	<i>55</i>
<i>Illustration 27 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « matières azotées ».....</i>	<i>56</i>
<i>Illustration 28 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « micro-polluants minéraux ».....</i>	<i>57</i>
<i>Illustration 29 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ».....</i>	<i>58</i>

<i>Illustration 30 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « micro-polluants organiques »</i>	<i>58</i>
--	-----------

Liste des annexes

<i>Annexe 1 Coupes lithologiques des ouvrages suivis dans le cadre des différents pompages d'essais effectués</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 2 Périmètres de protection du forage 1177ZZ0078-CNF1</i>	<i>71</i>
<i>Annexe 3 Périmètres de protection du forage 1177ZZ0166-CNF2</i>	<i>75</i>
<i>Annexe 4 Photos réalisées sur le terrain.....</i>	<i>79</i>
<i>Annexe 5 Bordereaux des analyses effectuées dans le cadre de l'étude.....</i>	<i>83</i>

1. Cadre général de l'étude

Le secteur de Case Navire a fait l'objet d'investigations hydrogéologiques entre 1973 et 1992 dans le cadre de recherches d'eau pour l'AEP. Ces études et travaux avaient été réalisés par le BRGM à la demande de la municipalité de Schoelcher. Le potentiel de ce secteur avait alors été évalué. Cependant, les investigations n'avaient pas donné lieu à une exploitation de la ressource.

En 2006, la CACEM a souhaité reprendre les investigations sur ce secteur. L'objectif était de finaliser la caractérisation hydrodynamique de la nappe de Case Navire et de définir son potentiel pour l'AEP.

Les objectifs du projet sont indiqués ci dessous :

- Réalisation d'une synthèse géologique du secteur de la basse vallée de Case-Navire.
- Réalisation sur l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078) de deux essais de pompages de longue durée (saison humide et saison sèche), avec suivi des niveaux sur 2 piézomètres situés en amont.
- Interprétation et confrontation des résultats aux données historiques.
- Elaboration de cartes piézométriques du secteur étudié.
- Evaluation des dimensions de la zone d'appel de l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078) et tracé de l'isochrone caractéristique d'un temps de transfert de 50 jours vers l'ouvrage CNF1.
- Définition de l'usage futur du forage, avec confrontation des résultats des pompages d'essai et des analyses de la qualité de l'eau souterraine.

L'ensemble des données acquises au cours de cette démarche a été interprété. Ceci a permis d'améliorer la connaissance du potentiel aquifère du secteur et d'avoir une première approche de sa vulnérabilité à la pollution.

1.1. HISTORIQUE DES RECHERCHES D'EAU SOUTERRAINE SUR LE SECTEUR DE CASE NAVIRE

1.1.1. Etudes et travaux réalisés en 1973

Les premiers travaux de recherche d'eau souterraine sur le territoire de la commune de Schoelcher ont débuté en 1973. Les méthodes de prospection mises en œuvre sur la commune furent les suivantes.

- mise en œuvre d'une **campagne de prospection géophysique** en 1973 (11 profils sismique réfraction et 9 sondages électriques réalisés par la Compagnie de Prospection Géophysique Française),
- implantation et réalisation de **3 sondages mécaniques carottés** de reconnaissance (**CNS1, CNS2, CNS3**) en diamètre au fond de 140 mm,
- réalisation de **pompages d'essai** sur les ouvrages CNS1, CNS2 et CNS3
Analyse physico-chimique des eaux prélevées aux ouvrages CNS1 et CNS2,
- réalisation d'un **forage d'exploitation (CNF1)** en diamètre 550 mm à quelques mètres du sondage CNS1,
- réalisation sur le forage CNF1 d'essais de puits par paliers de courtes durées suivis d'essais de longue durée.

1.1.2. Etudes et travaux réalisés en 1987

En 1987, le BRGM a effectué, à la demande de la commune de Schoelcher, une évaluation plus poussée des ressources en eau souterraine exploitables sur ce secteur.

• Installation de limnigraphes

Deux limnigraphes ont été installés en août 1987 (appareils permettant d'enregistrer les variations du niveau piézométrique dans un aquifère) sur les ouvrages CNS2 et CNS3. Un limnigraphe a été installé (opération réalisée par l'ORSTOM) à la même période au Pont de Fond Rousseau afin de suivre en parallèle les débits de la rivière Case Navire (l'appareil a été emporté par une crue en 1990).

• Développement de l'ouvrage CNF1 et pompages d'essai

Le forage CNF1 a fait l'objet d'une opération de nettoyage et de développement.

Un second pompage d'essai y a été réalisé. L'opération a consisté en la réalisation d'un essai par paliers de courtes durées et d'une simulation d'exploitation d'une durée de 30 jours.

Toutes ces démarches ont permis d'évaluer le débit optimal d'exploitation à environ 40 m³/h.

Des périmètres de protection du forage CNF1 ont été définis en décembre 1988 par l'hydrogéologue agréé (cf. Annexe 2), mais n'ont pas fait l'objet d'une mise en œuvre administrative.

Les résultats très satisfaisants obtenus pendant la simulation d'exploitation de longue durée sur le forage CNF1 ont conduit la municipalité à envisager au plus tôt la mise en exploitation de la nappe de Case Navire. La décision de réaliser un deuxième forage a donc été prise afin de doubler la capacité de production.

1.1.3. Etudes et travaux réalisés entre 1989 et 1990

• Implantation du forage CNF2

L'implantation du forage d'exploitation CNF2 (1177ZZ0166) a été réalisée. Pour minimiser les risques d'échec, une campagne de prospection du radon dans les gaz du sol (Collet *et al.*, BRGM, 1989) a été réalisée auparavant sur un secteur situé à l'amont du forage CNF1. Cette campagne a permis :

- le choix du site de foration,
- la réalisation d'un piézomètre de reconnaissance (CNS4).

Ces démarches ont conduit à l'exécution, en octobre 1989, du forage CNF2 implanté à 5 m du piézomètre CNS4.

• Pompages d'essai sur le forage CNF2

Le forage CNF2 a fait l'objet de pompages d'essai par paliers de débits et d'essai de nappe (48 h à 39 m³/h) le 08/11/1989, ainsi que d'analyses physico-chimiques. Ses périmètres de protection ont été définis par l'hydrogéologue agréé en décembre 1989 (cf. Annexe 3), sans mise en œuvre administrative ultérieure.

• Equipement et aménagement des ouvrages CNF1 et CNF2

Les forages CNF1 et CNF2 ont été équipés (pompes, bâtiments et clôtures de protections...) au cours des premiers mois de 1990. Les réseaux d'adduction ont été réalisés en direction du campus de Schoelcher et dans le secteur de Fond Rousseau.

• Procédures réglementaires

En vue de la mise en exploitation des ouvrages pour l'alimentation en eau potable de la commune de Schoelcher, des programmes d'analyses qualitatives des eaux ont été mis en œuvre en 1991 et 1992.

Les résultats ont démontré l'aptitude des eaux à être potabilisées (avec traitement par chloration et tour d'oxydation).

Les deux forages (CNF1 et CNF2) n'ont pas été mis en exploitation.

1.1.4. Suivi piézométrique des ouvrages réalisé par le BRGM

Les niveaux piézométriques au piézomètre 1177ZZ0079 (CNS2) ont été suivis par le BRGM depuis 1985 (observations manuelles de 1985 à 1993, puis de 2000 à 2006). Des travaux de protection (rehaussement du tubage, dalle de béton et garde corps) ont été réalisés en janvier 2005. Le piézomètre a été nivelé pour pouvoir rattacher les mesures piézométriques au nivellement général de la Martinique (NGM).

1.2. CADRE GEOLOGIQUE

D'une manière générale, les formations géologiques du secteur d'étude ne se sont mises en place qu'au début du Plio-pléistocène, après la période de repos volcanique d'environ 1MA qui a marquée le passage Miocène-Pliocène (daté vers 6 MA¹).

Les logs lithologiques levés lors de la foration des sondages de reconnaissance, complétés par des observations de terrain (cf. Illustration 1 et Annexe 4) et la consultation de la Banque de Données du Sous-sol permettent de préciser, à l'échelle de la commune, les informations de la carte géologique au 1/50.000 (cf. Illustration 1). Ces données géologiques sont nécessaires afin de définir les roches potentiellement aquifères, leur géométrie, la nature de leur perméabilité et les caractéristiques des terrains imperméables qui limitent les réservoirs.

¹ MA : million d'années

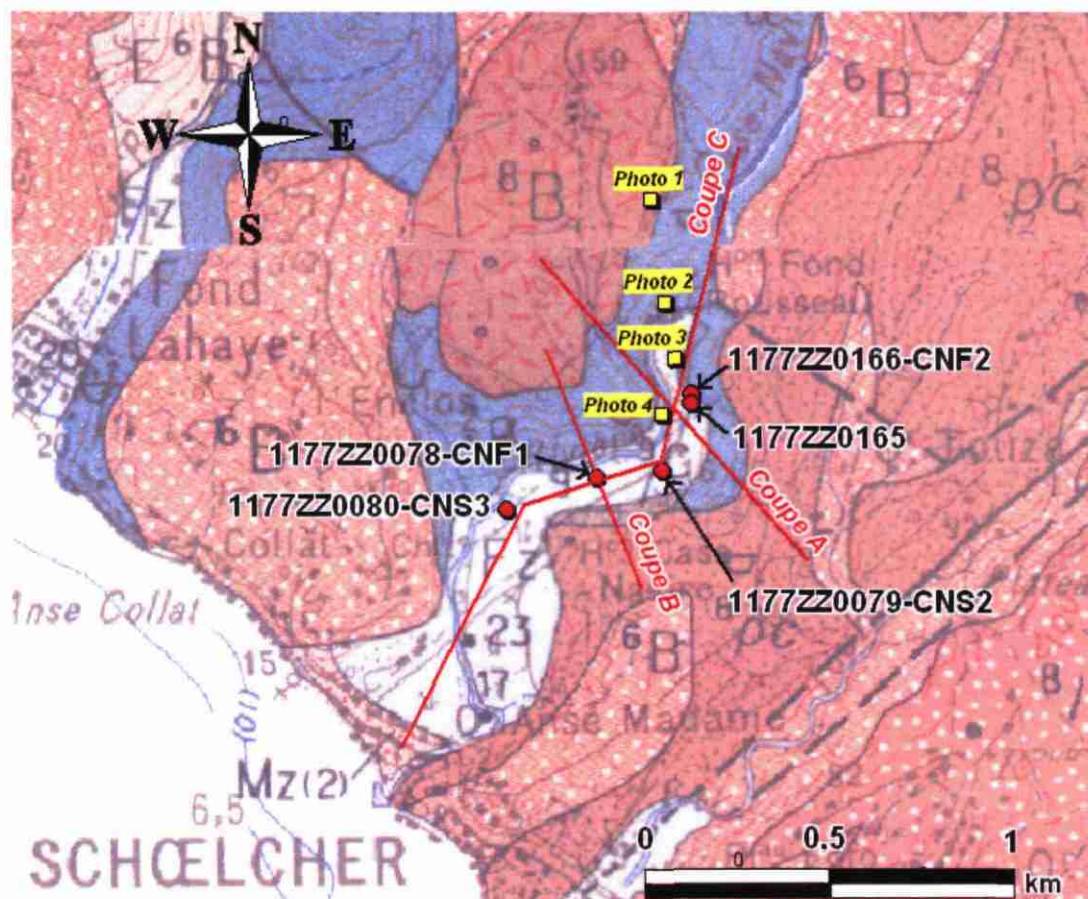


Illustration 1 : Localisation des ouvrages et des coupes sur la carte géologique au 1/50000 (BRGM, 1990)

Les terrains qui affleurent sur la commune de Schoelcher ont, dans leur grande majorité, une origine volcanique (cf. Illustration 1). Il s'agit soit de produits primaires de l'activité effusive et explosive du volcan bouclier du Morne Jacob ou du massif des Pitons du Carbet (coulées d'andésite, de ponces, nuées ardentes...) soit de séquences de démantèlement de ces édifices (conglomérats, lahars...). Les seuls terrains sédimentaires au sens strict sont les formations de plage ou les alluvions que l'on rencontre dans les parties basses des ravines les plus importantes (Case Navire ou ravine Touza notamment) ou à proximité immédiate de la mer (incisions quaternaires).

En se basant sur la carte géologique et sur les coupes lithologiques des forages effectués dans le secteur, trois coupes schématisées ont été réalisées : deux coupes transversales (A et B), et une coupe (C) suivant le cours de la rivière Case Navire, donnant ainsi des informations concernant le sous-sol du secteur (cf. Illustration 2).

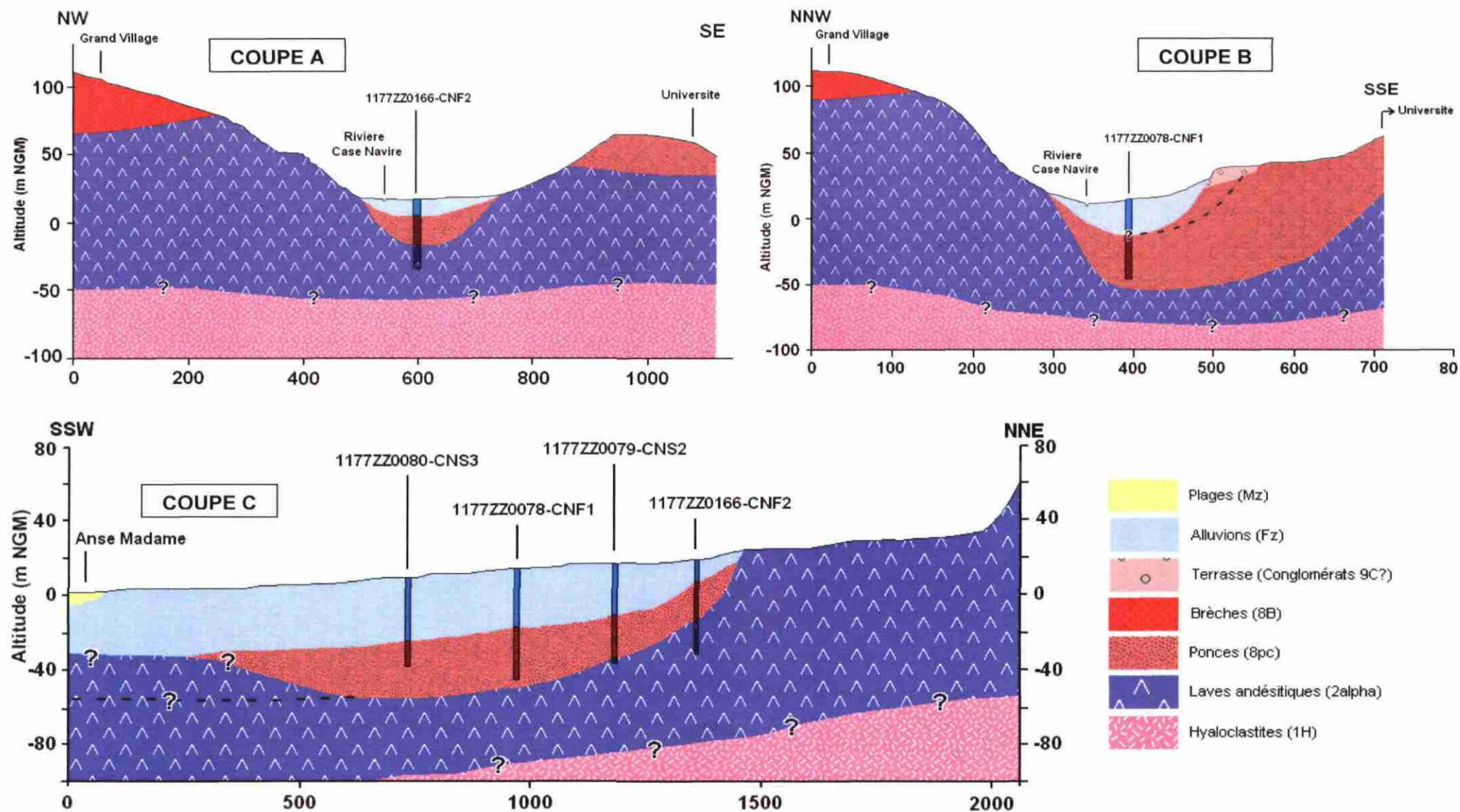


Illustration 2 : Coupes géologiques schématiques transversales et longitudinales dans le secteur de Case Navire

1.3. EXTENSION DE LA NAPPE ET ZONES D'ALIMENTATION

1.3.1. Formations aquifères

Les données géologiques recueillies montrent l'hétérogénéité et la variabilité spatiale des formations de la vallée de Case Navire.

L'ensemble ponces/nuées ardentes/dépôts alluviaux constitue un 1^{er} aquifère capté par l'ensemble des forages. Son extension est relativement bien connue puisqu'elle correspondrait aux limites du bas de la vallée de la rivière Case Navire (cf. illustrations 1 à 4).

Cet aquifère pourrait être en relation hydraulique avec l'aquifère sous jacent des andésites 2α qui présente une perméabilité de fissures et éventuellement de fractures. Cet aquifère a été recoupé par les forages 1177ZZ0166-CNF2 (entre -36m et -51m) et 1177ZZ0079-CNS2 (à partir de -51m). Cette formation est réputée pour disposer d'une perméabilité significative (cf. forages de Fond Lahaye). Cependant, aucune indication de venue d'eau significative n'est mentionnée parmi les ouvrages recoupant cette formation.

1.3.2. Définition des zones d'alimentation

Une bonne correspondance entre le bassin versant topographique (écoulements superficiels) et le bassin versant souterrain (écoulements souterrains) constitue une hypothèse acceptable sur le site de Case Navire. Cependant, il peut exister des conditions particulières, notamment de paléotopographie, susceptibles de provoquer des flux occultes au sein des bassins versants topographiques délimités.

Les conditions topographiques, géologiques, hydrologiques et, in fine, hydrogéologiques de la Martinique concourent en effet, dans la plupart des régions de l'île, à une bonne concordance, au moins à l'échelle du 1/50 000^{ème}, entre bassins versants topographiques et bassins versants souterrains.

Cependant, considérer le bassin versant topographique comme étant l'aire d'alimentation de l'aquifère des andésites (formations 2α) est une hypothèse qui maximise son extension.

2. Pompages d'essais – Protocole et interprétation

2.1. PROTOCOLE MIS EN OEUVRE

Deux pompages d'essais ont été réalisés :

- un pompage d'essai d'une durée de 4 mois, réalisé entre août 2006 et janvier 2007 (saison humide),
- un pompage d'essai d'une durée de 5 jours réalisé en avril 2007 (saison sèche).

2.1.1. Présentation du réseau d'acquisition de données

L'Illustration 3 présente la localisation des ouvrages suivis au cours des essais de pompages réalisés en 2006-2007. Les ouvrages y sont caractérisés par leur identifiant BSS. On distingue l'ouvrage 1177ZZ0078 (CNF1), situé en aval du secteur, l'ouvrage 1177ZZ0079 situé devant la déchèterie de la commune, et l'ouvrage 1177ZZ0165 situé en amont. Les niveaux piézométriques de chaque ouvrage ont été suivis en continu.

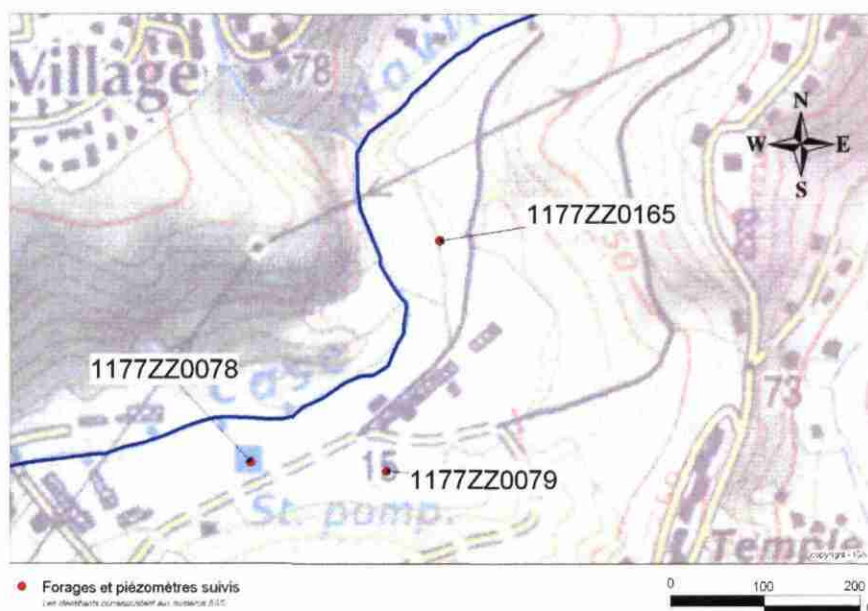


Illustration 3 : Présentation des forages et piézomètres suivis

Les coupes lithologiques de ces ouvrages sont présentées en Annexe 1.

2.1.2. Mise en œuvre et suivi des pompages effectués

Les pompages ont été réalisés sur l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078). Cet ouvrage a été équipé par la SAUR d'une pompe immergée. Afin de suivre les débits d'exhaure, un compteur volumétrique a également été disposé sur le site.

Le suivi des niveaux piézométriques a été effectué sur les 3 ouvrages suivants :

- le forage CNF1 (1177ZZ0078) ou ont été effectués les pompages,
- le piézomètre CNF2 (1177ZZ0165),
- le piézomètre CNS2 (1177ZZ0079).

Les niveaux piézométriques du forage CNF1 (1177ZZ0078) ont été suivis à l'aide d'une sonde de pression de type OTT (Orphéus-mini 0-1 bar).

Les niveaux piézométriques des ouvrages d'observation CNS2 et CNF2 ont été suivis au pas de temps de horaire à l'aide d'enregistreurs des types OTT respectifs Orphéus mini (0-1 bar) et Thalimèdes.

Afin d'acquérir des données fiables, et de contrôler le bon fonctionnement des appareils d'enregistrements en continu, les niveaux piézométriques ont également fait l'objet de contrôles manuels.

Les contrôles de débits ont été effectués par la CACEM sur le compteur volumétrique disposé sur le site de pompage. Pour des raisons d'ordre technique il n'a pas été possible de contrôler par jaugeage les indications du compteur.

2.1.3. Méthodes d'interprétation des pompages d'essais

Les essais ont été interprétés à l'aide du logiciel ISAPE (Interprétation Semi Automatique des Pompages d'Essai), développé par le BRGM. Celui-ci propose plusieurs solutions analytiques d'interprétation en fonction du contexte hydrogéologique de la zone d'étude et du type d'ouvrage étudié. Le logiciel reconstitue l'évolution théorique des niveaux piézométriques calculés à partir des paramètres hydrodynamiques définis par l'opérateur. Le calage permet de déterminer les valeurs de transmissivité (T) et d'emmagasinement (S), paramètres caractéristiques de la nappe étudiée.

La méthode retenue lors des interprétations est la solution analytique de « Theis ». Cette méthode s'applique particulièrement aux aquifères à nappe captive, d'extension infinie, à substratum et toit imperméable. Elle peut aussi être utilisée dans le cas d'aquifères à nappe libre avec éventuelle prise en compte d'effets de limites.

2.2. ESSAI DE PUIT PAR PALIERS DE DEBIT

Les pompages d'essais par paliers permettent de caractériser le comportement hydrodynamique de l'ouvrage. La connaissance des coefficients de pertes de charge quadratiques au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078-CNF1, dues à l'écoulement turbulent de l'eau au sein de sa partie captante, est nécessaire pour une bonne interprétation des rabattements mesurés au droit du forage, notamment lors des pompages d'essai de longue durée.

Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible de réaliser l'essai par paliers de débit : la vanne permettant de réguler le débit de pompage sur l'ouvrage 1177ZZ0078-CNF1 est bloquée (cause possible : forte oxydation). Il n'a ainsi pas été possible de la manœuvrer pour régler les différents débits d'exhaure de chaque palier. Par ailleurs, la SAUR ne souhaite pas modifier à l'excès le débit de pompage afin d'éviter tout risque d'endommagement de la pompe (ancienneté de la pompe). Il avait été prévu d'effectuer les essais par paliers à 5, 10, 20 et 40 m³/h. Le changement de cette vanne semble indispensable pour permettre ce type d'essai.

A défaut, une synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit, réalisés en 1973, 1987 et 1990, a été effectuée. Elle est présentée dans l'illustration 4 ci après.

Date	Caractéristiques des essais			Rabattement final (m)	Rabattement spécifique (h/m ²)	Ajustement des coefficients de perte de charge		Estimation des pertes de charges quadratiques	
	Nombre de paliers	Débits (m ³ /h)	Durée du pompage (minutes)			"b" linéaires (s/m ²)	"c" quadratiques (s ² /m ⁵)	Débit de pompage (m ³ /h)	Pertes de charge quadratique (m)
1973	4	4,5		1,6		$1,13 \cdot 10^3$	$5,52 \cdot 10^4$	40	8
		21		8,2					
		27		12,4					
		39	1410	17,56	0,45				
1987	4	5,5	120	1,56	0,284	$9,36 \cdot 10^2$	$3,83 \cdot 10^4$	45	10
		12,5	120	3,74	0,299				
		19,9	120	6,24	0,314				
		23	120	7,41	0,322				
1990	2	40,5	1545	18,07	0,446	$9,30 \cdot 10^2$	$6,20 \cdot 10^4$	-	-
		43,8	2586	20,32	0,464				

Illustration 4 : Synthèse des résultats des pompages d'essai par paliers de débit au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078

2.2.1. Pertes de charges quadratiques (turbulentes) de l'ouvrage CNF1

Une représentation synthétique des courbes débits/rabattements spécifiques de l'ouvrage a été réalisée à partir des données recueillies de 1973 à 2007.

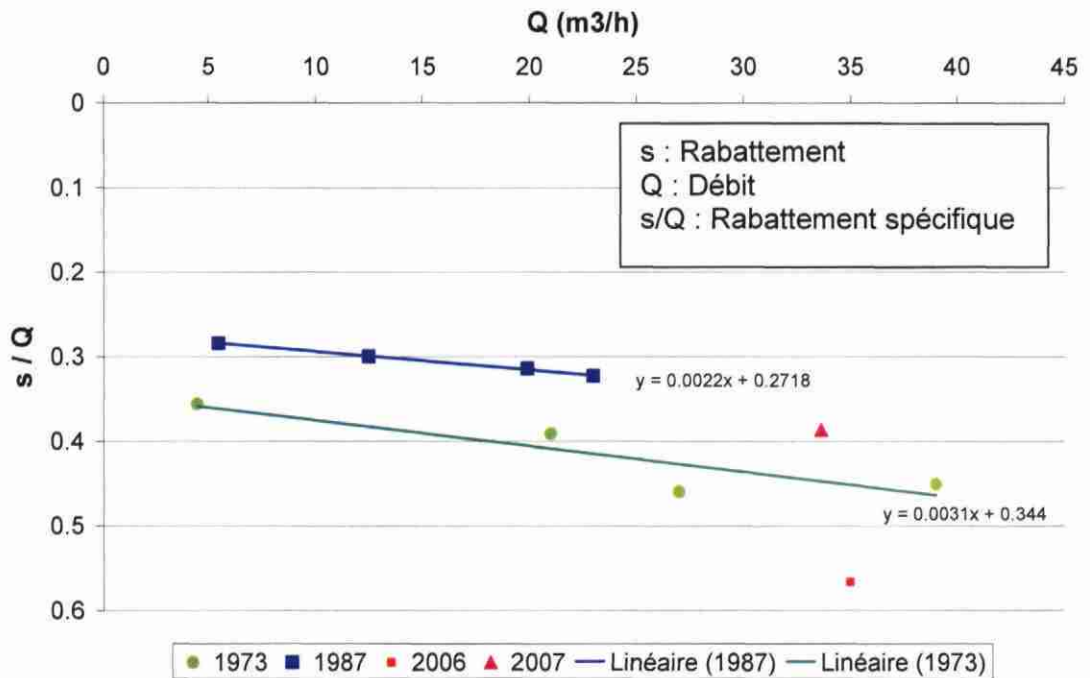


Illustration 5 : Courbes rabattements spécifiques / débits issues des essais par paliers de 1973 et 1987 / comparaison avec les données provenant des pompes d'essais de 2006 et 2007

L'allure des courbes permet de distinguer le comportement des écoulements au sein de l'ouvrage (écoulements turbulents et laminaires). Ce comportement peut être interprété à partir de l'allure des droites (pente des droites, et équations caractéristiques).

Les pentes des courbes rabattements spécifiques / débits, tracées pour les essais de 1973 et 1987 sont quasiment identiques. Les pertes de charges turbulentes sont ainsi très similaires et n'ont pas évoluées entre les deux essais. Les pertes de charges laminaires s'avèrent toutefois moins élevées sur les données acquises en 1987. Un nettoyage et développement de l'ouvrage, réalisé en 1987 avant la réalisation de l'essai par paliers pourrait expliquer ce phénomène (amélioration des capacités hydrauliques au droit de l'ouvrage – massif de gravier additionnel).

Afin d'évaluer le comportement de l'ouvrage en 2006 et 2007 en l'absence d'essai par palier, il a été positionné et comparé sur le graphique les mesures de rabattements spécifiques obtenues au bout d'une heure de pompage.

Les pertes de charge quadratique obtenues semblent à première vue rester dans un même ordre de grandeur en 2006 et 2007 malgré le point 2006 situé plus bas. La variation est jugée non significative. Par conséquent, et, en l'absence de données plus récentes, il est raisonnable d'affirmer que le coefficient de pertes de charges quadratiques de l'ouvrage CNF1 n'a pas évolué de façon notable depuis 1973. Ainsi, le coefficient retenu pour les interprétations des pompages d'essai de longue durée est le suivant :

$$c = 5 \cdot 10^4 \text{ s}^2/\text{m}^5.$$

2.2.2. Evaluation du débit critique de l'ouvrage CNF1

L'illustration 6 ci-dessous présente les courbes caractéristiques de l'ouvrage CNF1.

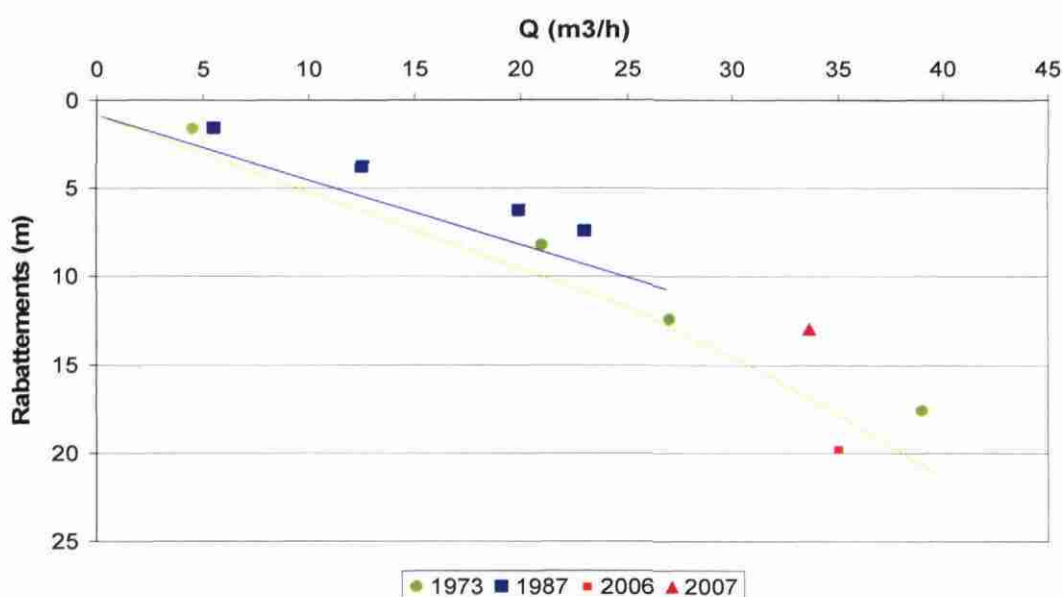


Illustration 6 : Courbes caractéristiques de l'ouvrage CNF1 tracées à partir des essais par paliers de 1973 et 1987

Les courbes caractéristiques (1973 et 1987) ne montrent pas de point d'infléchissement particulier pouvant laisser admettre une augmentation rapide des pertes de charges quadratiques. Le point bas correspondant à la mesure acquise lors du pompage de longue durée de 2006 ne peut pas être expliqué en l'état des connaissances.

Il semble ainsi qu'un pompage effectué entre 30 et 35 m³/h permettrait de tirer le meilleur profit de l'ouvrage en limitant les pertes de charges turbulentes et en restant dans les gammes d'utilisation de la pompe actuellement en place.

2.3. INTERPRETATION DU POMPAGE DE LONGUE DUREE EN SAISON HUMIDE

Un pompage d'essai de longue durée a été effectué en saison humide entre le 23 août 2006 à 9h00 et le 26 janvier 2007 à 11h30, à un débit moyen de 35 m³/h (cf. Illustration 8). Le pompage a été effectué sur l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078) et a été suivi sur deux piézomètres (cf. §3.3.1).

L'illustration 7 ci-dessous présente l'évolution des débits mesurés sur le compteur disposé sur le site.

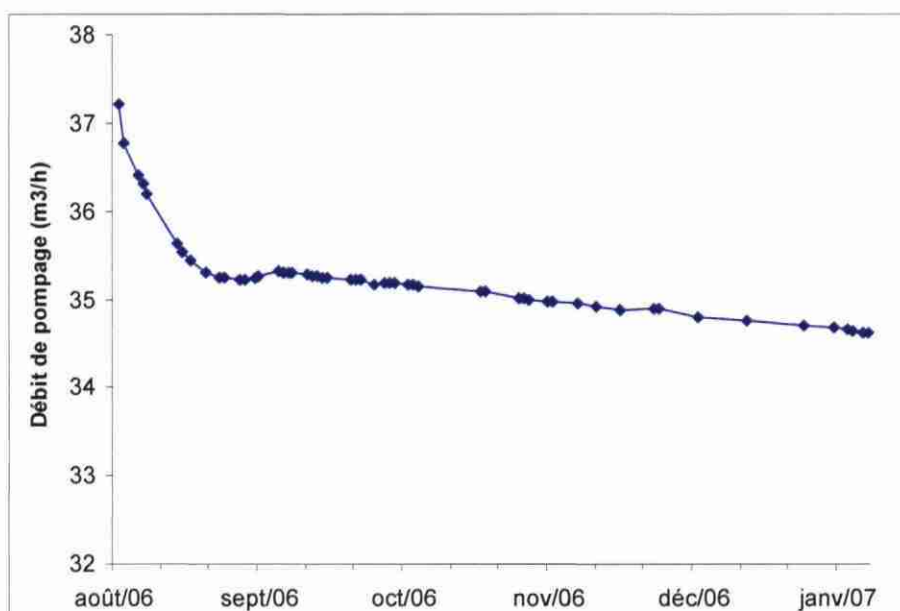


Illustration 7 : Courbe des débits durant le pompage d'essai de longue durée en saison humide

Nb : Un hiatus de données est à signaler concernant le pompage. En effet, suite à un problème survenu sur le matériel d'enregistrement, les données piézométriques acquises durant la période du 06 décembre 2006 au 28 février 2007 ont été perdues.

2.3.1. Ouvrage CNF1 (1177ZZ0078)

• Calcul des paramètres hydrodynamiques

Le pompage d'essai effectué en saison des pluies 2006 a été lancé le 23 août 2006 à 9h30. L'interprétation des rabattements n'a pu être effectuée que sur la descente des niveaux compte tenu de l'influence des précipitations, manifestée dès 7 jours de pompage.

Le pompage d'essai a été interprété au moyen de la solution analytique de Theis.

Paramètres de calage retenus :

$$T = 4.35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Limite alimentée : 50 mètres (temps d'influence : 160 minute environ)

Le pas de temps d'acquisition des données en début d'essai (une donnée par heure) ne permet pas d'affiner l'interprétation sur les 60 premières minutes.

Ce calage doit être considéré avec prudence. Sa qualité dépend essentiellement du coefficient de pertes de charges quadratiques (pertes de charges turbulentes) intégré au modèle. Or, il a été mentionné précédemment qu'aucun essai par palier n'avait permis de le déterminer de façon précise.

L'illustration 8 ci après présente l'interprétation effectuée.

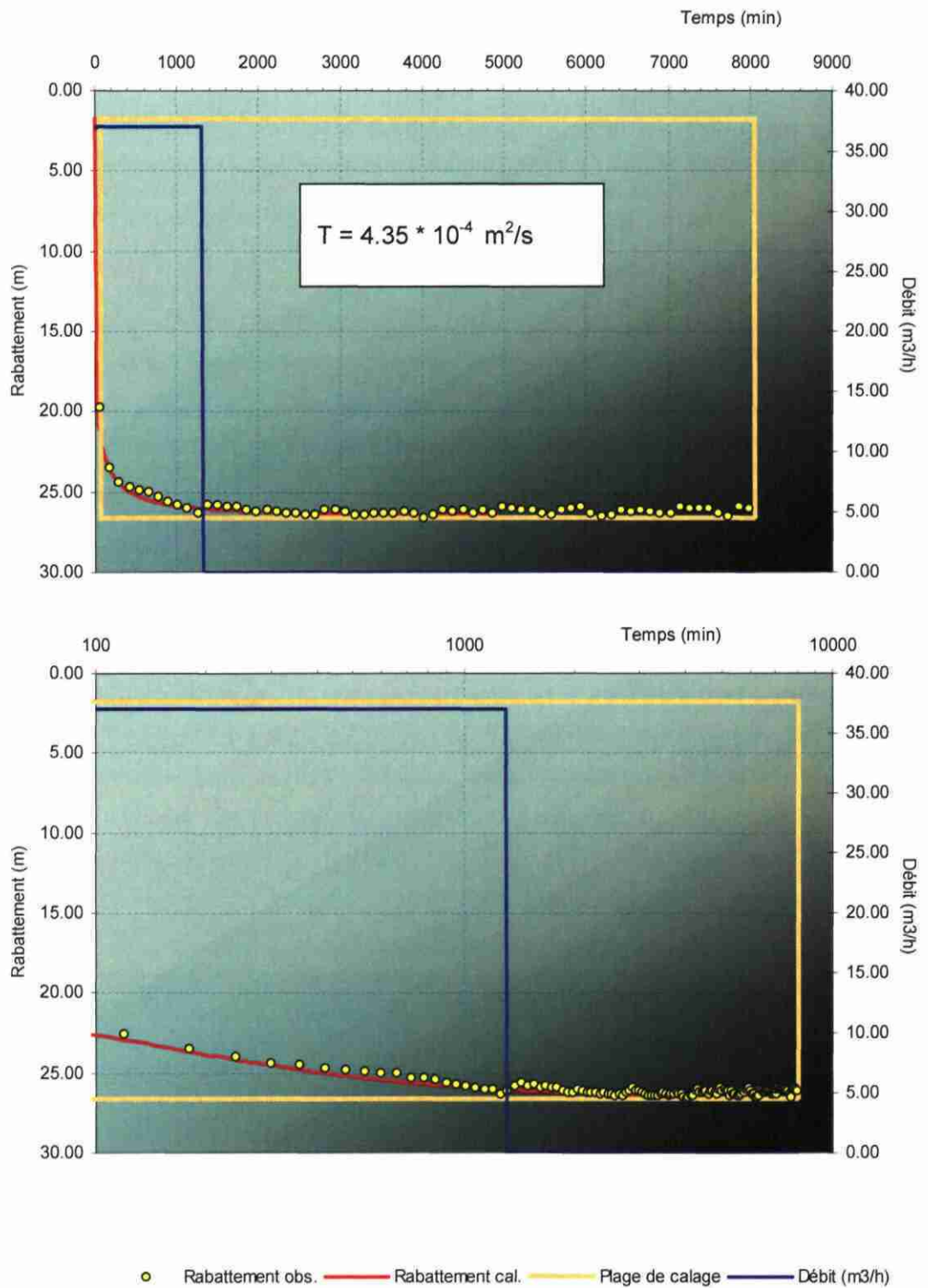


Illustration 8 : Graphiques d'interprétation du pompage d'essai en saison humide au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078-CNF1

• Evaluation de l'influence des précipitations sur le pompage

L'illustration 9 ci dessous ci-dessous présente les enregistrements effectués sur l'ouvrage 1177ZZ0078 entre le 23 août et le 6 décembre (l'échelle des abscisses est exprimée en heures).

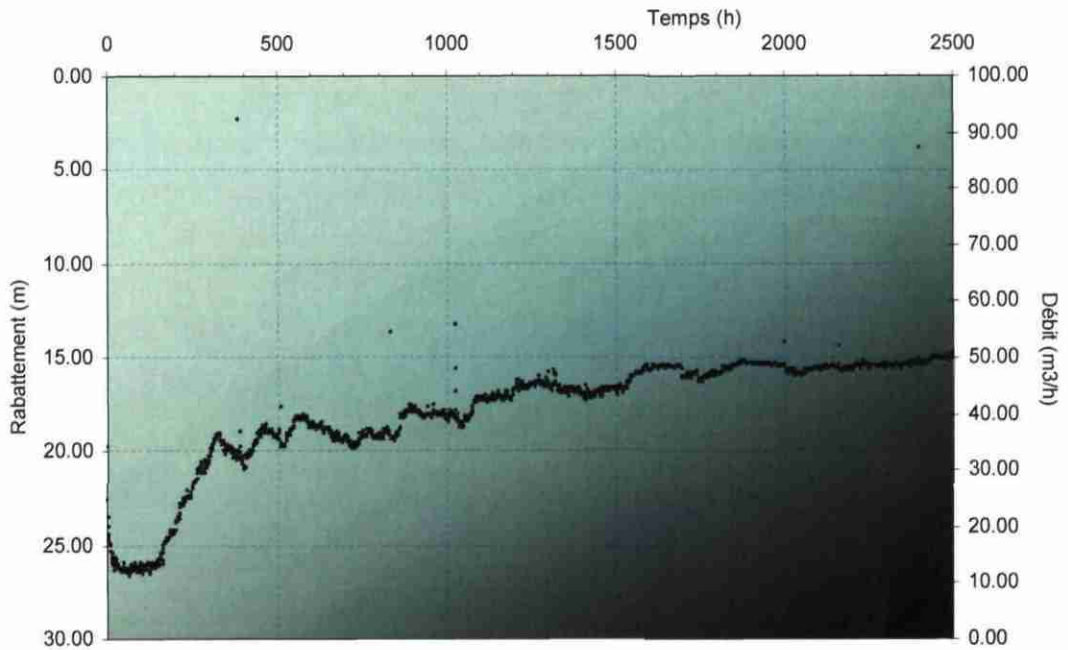


Illustration 9 : Evolution des rabattements enregistrés sur l'ouvrage CNF1 pendant l'intégralité du pompage

Dès le début du pompage, les rabattements sont importants et atteignent rapidement 25 mètres.

Des épisodes pluvieux, apparus au bout de 50 heures de pompage et récurrents les mois suivants, ont influencé l'allure de la courbe de rabattement obtenue.

Malgré la présence du pompage à un débit compris entre 34 et 36 m³/h, les niveaux piézométriques de la nappe ont en effet entamé une hausse : ils sont passés de 25 mètres de profondeur à 15 mètres de profondeur en l'espace de 3 mois et demi.

Cette hausse pourrait avoir pour origines :

- un léger décolmatage de l'ouvrage en cours de pompage (effet supposé limité),
- la recharge de la nappe par l'infiltration progressive des précipitations,
- la recharge améliorée de la nappe par l'intermédiaire de la rivière (qui constitue une limite alimentée). La rivière présenterait en effet des débits plus importants en saison des pluies, et de fait un niveau plus important ce qui pourrait améliorer l'efficacité des échanges nappe/ rivière en saison des pluies.

2.3.2. Ouvrage CNF2 (1177ZZ0165)

L'illustration 10 ci-dessous met en évidence l'évolution des rabattements enregistrés sur l'ouvrage CNF2 (1177ZZ0165).

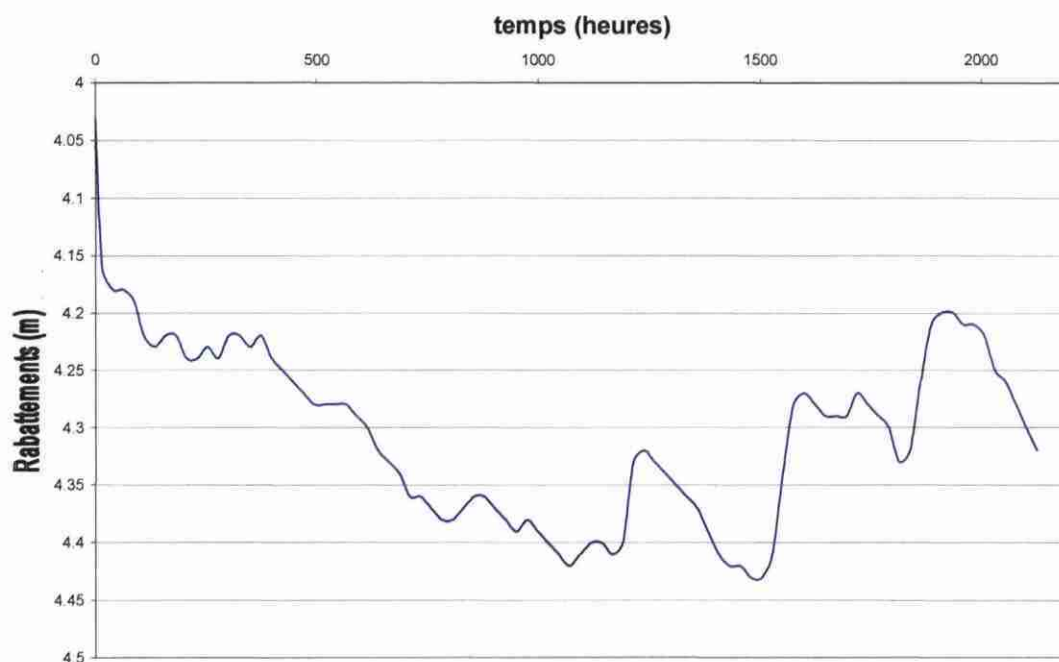


Illustration 10 : Côtes piézométriques (m NGM) enregistrées sur l'ouvrage CNF2

Les cumuls pluviométriques ont fortement influencés les niveaux enregistrés sur cet ouvrage (cas de figure similaire pour l'ouvrage 1177ZZ0079). L'interprétation du pompage d'essai (détermination des coefficients T et S) n'a ainsi pas été possible. Les mesures acquises permettent toutefois de déduire la moindre influence du pompage sur les niveaux piézométriques sous l'influence de précipitations.

2.4. POMPAGE DE LONGUE DUREE EN SAISON SECHE

Un second pompage a été effectué en fin de saison sèche 2007, sur l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078). Il a été réalisé à un débit d'environ 33 m³/h et a duré 70h. Il a débuté le 24 avril à 11h10 et a été stoppé le 27 avril à 9h10.

La remontée des niveaux a été suivie selon un pas d'enregistrement d'une minute à l'aide des appareils de suivis, et ce, pendant une durée de 150 heures. Les niveaux ont tous été contrôlés manuellement afin de valider les enregistrements.

2.4.1. Ouvrage CNF1 (1177ZZ0078)

Le graphique de l'illustration 11 ci-dessous présente une comparaison entre les enregistrements (courbe expérimentale) et la courbe théorique (modèle) calée à l'aide du logiciel ISAPE (graphiques en coordonnées arithmétiques et logarithmiques).

Paramètres de calage :

$$T = 2.5 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Limite alimentée : 50 mètres.

Le calage effectué s'avère relativement précis. Les rabattements mesurés atteignent rapidement 12 mètres pour dépasser en fin de pompage les 14 mètres. Pour un débit de pompage de 33 m³/h, les niveaux présentent un début de stabilisation dès 2000 minutes de pompage soit environ 30 heures. Par ailleurs, dès l'arrêt du pompage, les niveaux remontent en moins d'une heure à 2 mètres de la surface pour se stabiliser beaucoup plus lentement.

La limite alimentée s'avère délicate à identifier durant la descente compte tenu de l'influence combinée des pertes de charges quadratiques. Les simulations successives permettent toutefois de la positionner de façon assez univoque à 50 mètres de distance de l'ouvrage CNF1.

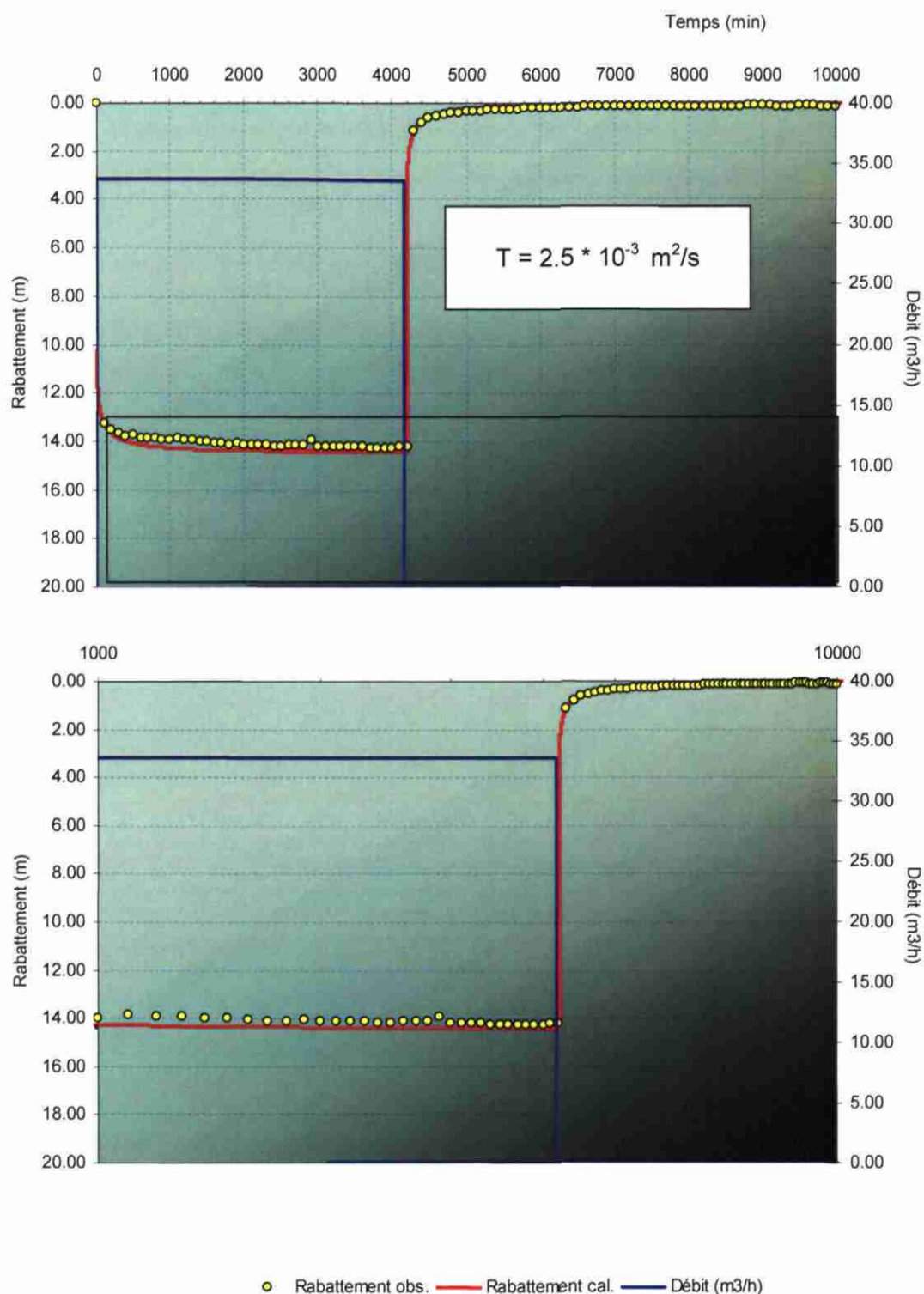


Illustration 11 : Graphique d'interprétation du pompage d'essai en saison sèche au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0078-CNF1

2.4.2. Ouvrage CNS2 (1177ZZ0079)

L'ouvrage CNS2 (1177ZZ0079) est situé à 145 mètres en amont du puits de pompage.

Paramètres de calage :

$$T = 1.3 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 1 * 10^{-3}$$

Limite alimentée : 93 mètres.

La distance importante de ce piézomètre au pompage (145 mètres) rend assez délicat le calage du modèle. La précision obtenue est toutefois acceptable.

A cette distance, les rabattements maximums mesurés n'atteignent que 50 cm en fin de pompage. Au bout de 66 heures de pompage, les niveaux ne sont pas stabilisés.

Les paramètres hydrodynamiques (T et S) calculés sont cohérents avec le contexte géologique du secteur étudié. Le coefficient d'emmagasinement calculé est relativement faible : il est caractéristique d'une nappe semi-captive.

Une limite alimentée a été détectée à une distance d'environ 90 mètres, ce qui correspond approximativement à la distance entre l'ouvrage et la rivière Case Navire (située à une distance de 100 m en ligne droite).

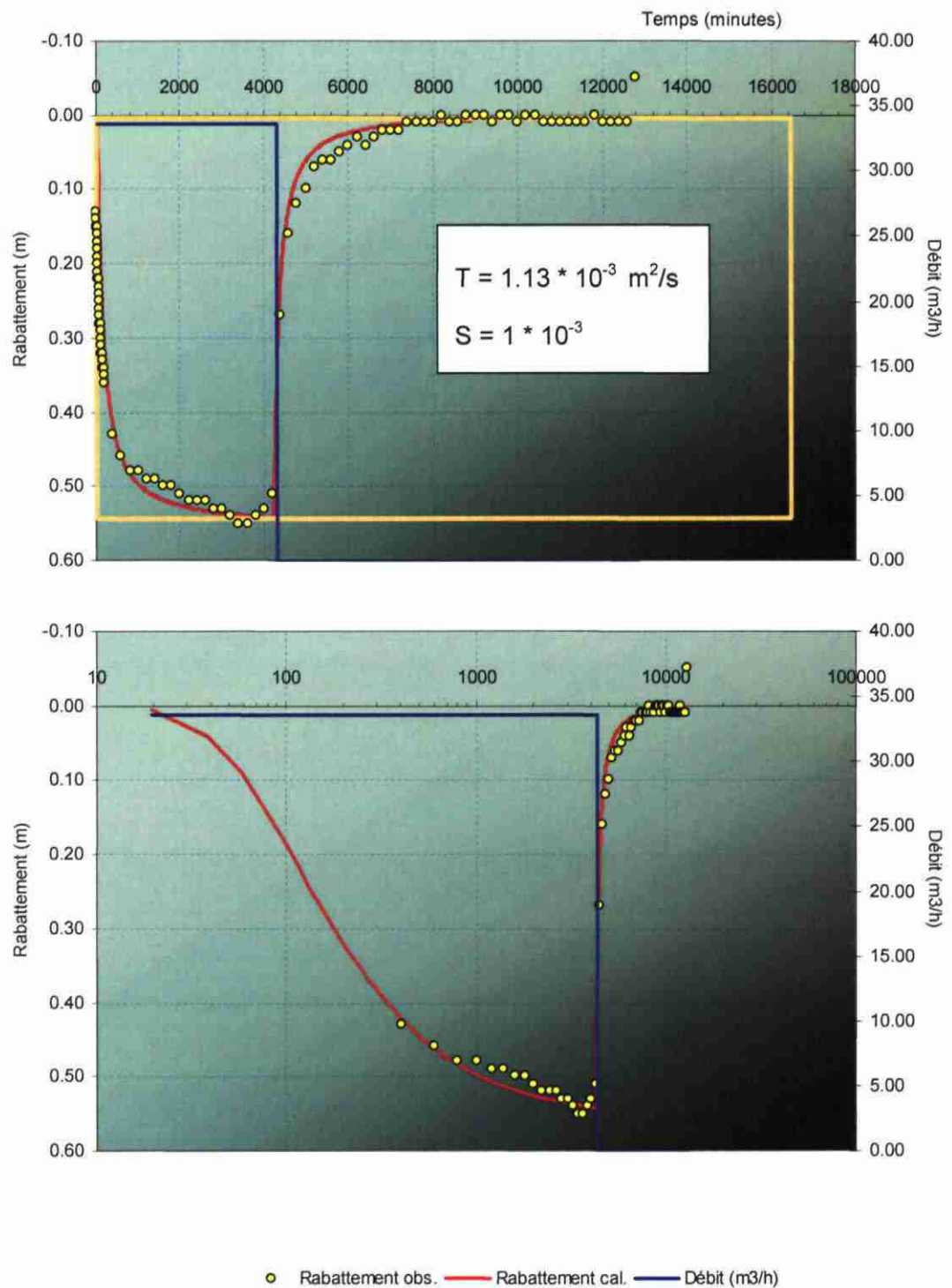


Illustration 12 : Graphique d'interprétation du pompage d'essai en saison sèche sur l'ouvrage 1177ZZ0079-CNS2

2.4.3. Ouvrage Z165 (1177ZZ0165)

L'ouvrage est situé à une distance de 311 mètres du pompage CNF1 (1177ZZ0078).

Paramètres de calage :

$$T = 1.3 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 1 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Limite alimentée : 78 mètres.

Il a priori délicat d'interpréter un pompage d'essai sur un piézomètre situé à une distance supérieure à 150 mètres du pompage. Cependant, la qualité de l'acquisition a permis d'effectuer une interprétation.

Les rabattements mesurés à cette distance du pompage (311 mètres) n'atteignent plus que 16 centimètres à la fin du pompage (4200 minutes). Ces derniers ne sont toutefois pas encore stabilisés.

Une limite alimentée a été détectée à 78 mètres. Cette distance correspond ici à la distance qui sépare l'ouvrage de la rivière de Case Navire.

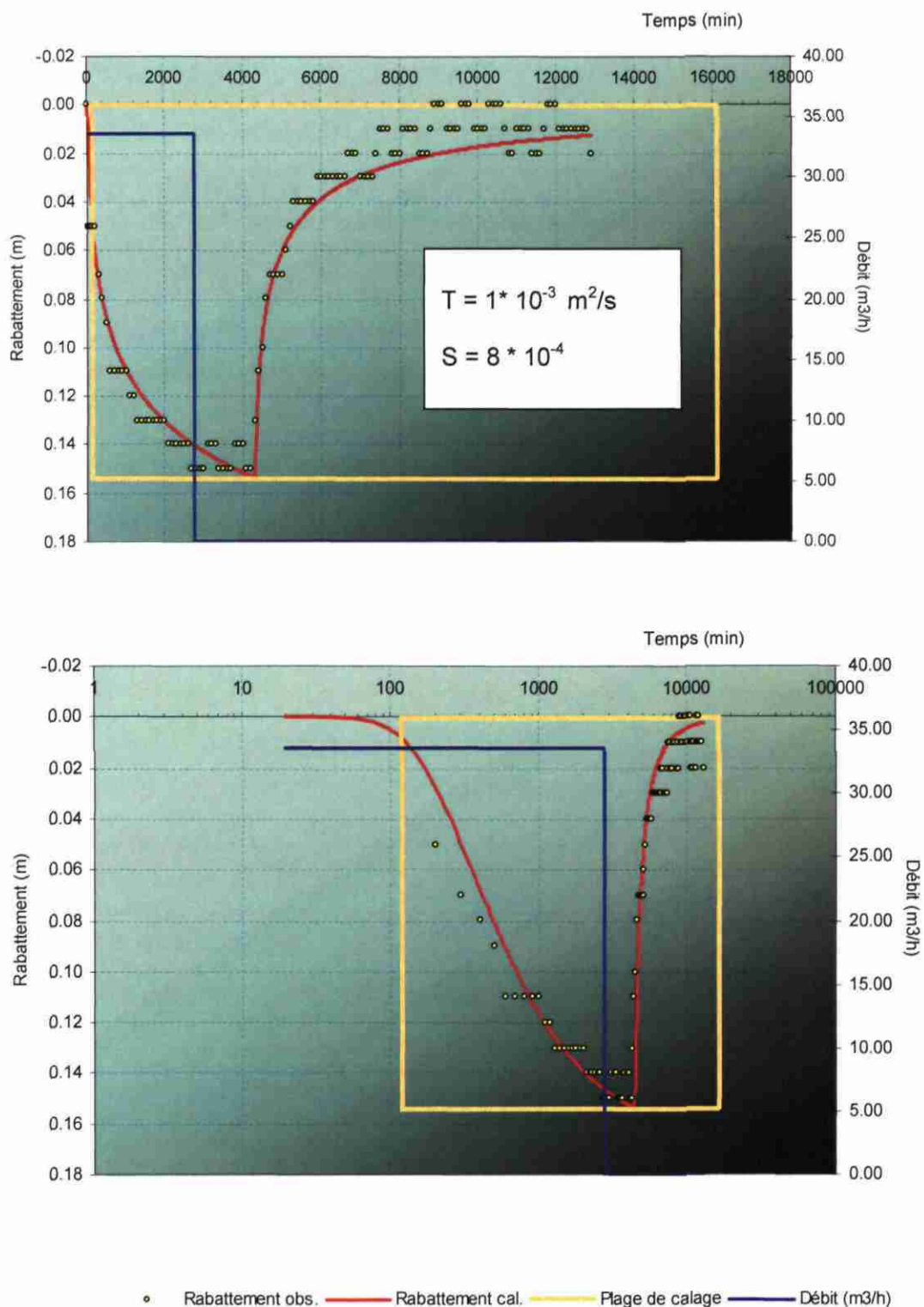


Illustration 13 : Graphique d'interprétation du pompage d'essai en saison sèche au niveau de l'ouvrage 1177ZZ0165-Z165

2.5. SYNTHÈSE DES POMPAGES D'ESSAIS DE LONGUE DURÉE

Les résultats des pompages d'essais effectués en août 2006 et avril 2007 ont été comparés aux résultats obtenus lors des études antérieures portant sur l'évaluation du potentiel en eau souterraine de la commune de Schoelcher (Lachassagne, 1992). Les données sont récapitulées dans le tableau de l'illustration 14.

Les aquifères testés correspondent, sur chacun de ces ouvrages, à la succession « alluvions, ponces, andésites ».

2.5.1. Paramètres hydrodynamiques de la nappe

On constate une assez bonne cohérence entre les différents calages effectués. En effet, les valeurs de transmissivité obtenues au niveau de l'ouvrage CNF1 et des piézomètres alentours s'échelonnent toutes aux alentours de $1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Le coefficient d'emmagasinement calculé sur les piézomètres présente également des valeurs très proches de 1.10^{-3} . Cette estimation est d'une précision modeste compte tenu de la distance puits piézomètres et surtout et de l'hétérogénéité du milieu.

L'ordre de grandeur des coefficients d'emmagasinement calculés est typique des nappes semi-captives. Dans les nappes libres, le coefficient d'emmagasinement est assimilé à la porosité efficace. Dans le cadre de cette étude, il est acceptable d'en faire de même d'autant plus que les ponces présentent généralement une porosité efficace très faible.

2.5.2. Conditions aux limites de la nappe

Une limite alimentée a été détectée sur chacun des essais. Les distances des limites détectées correspondent approximativement à celles séparant les ouvrages de la rivière Case-Navire.

Les pompages d'essai menés sur l'ouvrage CNF1 depuis 1974 mettent tous en évidence une limite alimentée à environ 50 mètres de distance (limite correspondant de manière exacte à la distance de l'ouvrage à la rivière). Le caractère rapproché de cette limite alimentée présente donc un avantage indéniable en terme de rendement de l'ouvrage. Le module annuel du débit de la rivière Case-Navire en aval du pompage, de $0.305 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1098 \text{ m}^3/\text{h}$), est largement supérieur aux débits prélevés pendant les pompages d'essais (compris entre 30 et $40 \text{ m}^3/\text{h}$).

L'impact du pompage sur les débits de la rivière Case-Navire devrait être ainsi négligeable.

Ouvrage	Numéro BSS	Aquifère testé	Date	Durée de l'essai (mn)		Débit (m3/h)	Interprétation - Méthode de Theis		Limites détectées et distances <i>LA : limite alimentée</i> <i>LE : limite étanche</i>
				Descente	Remontée		T (m2/s)	S	
CNF1	1177ZZ0078	Alluvions (10m) Ponces (47 m)	1974	1410	1380	39.1	$1.00 * 10^{-3}$	-	LA (45 m) – LE (170 m)
			août-87	570	800	22.6	$8.60 * 10^{-4}$	-	LA (44 m) – LE (170 m)
			mars-90	1545	24480	35.1	$9.00 * 10^{-4}$	-	LA (49.3 m)
			avr-90	3938	1767	43.8	$9.00 * 10^{-4}$	-	LA (50 m)
			août-06	8000	-	36	$4.35 * 10^{-4}$	-	LA (50 m)
			avr-07	4200	8000	33.4	$2.50 * 10^{-3}$	-	LA (50 m)
CNS2	1177ZZ0079	Alluvions (16.5m) Ponces (31.5m) Andésites (2.5m)	1973	285	195	2	$1.40 * 10^{-4}$	-	LA - LA
			1974	1410	1380	piézomètre	$2.05 * 10^{-3}$	$1.50 * 10^{-4}$	LA (550 m) - LA (1150 m)
			août-06	8000	-	piézomètre	-	-	-
			avr-06	4200	8000	piézomètre	$1.30 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-3}$	LA (93 m)
Z165	1177ZZ0165	Alluvions (7m) Ponces (21m) Andésites (18m)	nov-89	2880	5690	4.7	$4.32 * 10^{-4}$	$9.20 * 10^{-4}$	LA (126 m)
			août-06	8000	-	piézomètre	-	-	-
			avr-07	4200	8000	piézomètre	$1.00 * 10^{-3}$	$8.00 * 10^{-4}$	LA (78 m)
			-	-	-	-	-	-	-

Illustration 14 : Synthèse et historique des résultats des pompages d'essais réalisés sur les ouvrages du secteur de Case Navire

2.6. DEBITS EXPLOITABLES SUR L'OUVRAGE CNF1

Les interprétations des différents pompages d'essais menés sur le site de la basse vallée de Case-Navire ont permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe (transmissivité, coefficient d'emmagasinement) au droit de l'ouvrage CNF1. Le pompage d'essai de longue durée mené en saison des pluies 2006 a permis de rendre compte du comportement de la nappe vis-à-vis de l'action combinée du pompage et de la recharge par les précipitations. L'interprétation des essais par paliers réalisés en 1974 et 1988 et leur comparaison avec les mesures effectuées en 2006 et 2007 a permis de caractériser le comportement hydrodynamique de l'ouvrage LAF1.

La prise en compte simultanée de ces différents résultats permet d'évaluer de manière assez univoque le potentiel de l'ouvrage en matière d'exploitation.

2.6.1. Débit instantané exploitable

Le débit instantané exploitable est le débit que peut fournir l'ouvrage LAF1 dans des conditions d'utilisations raisonnées. Ce débit doit rester dans des limites particulières afin d'éviter :

- le dénoyage de la pompe en place,
- des rabattements excessifs en dessous des parties crépinées de l'ouvrage.

Les paramètres majeurs pris en compte pour caractériser le débit instantané maximal sont :

- les coefficients de pertes de charges quadratiques (calculés à partir des essais par paliers),
- la position des crépines au sein de l'ouvrage
- le débit de développement de l'ouvrage.

Compte tenu de ces différents paramètres, le débit instantané maximal exploitable sur l'ouvrage LAF1 s'élèverait à 35 m³/h.

2.6.2. Débit moyen annuel exploitable

Le débit moyen annuel exploitable est évalué en tenant compte des ressources en eau disponibles sur le site. Les différentes évaluations de la ressource en eau souterraine menées au travers des études antérieures (Lachassagne, 1992) ne montrent **pas de contre-indication majeure à une exploitation de la ressource à un débit de 35 m³/h**. Le potentiel important de la nappe ainsi que ses relations étroites avec la rivière Case-Navire devraient permettre une telle exploitation 12 mois par ans sans interruption.

3. Cartes piézométriques du site

Plusieurs cartes piézométriques de la nappe ont été dressées :

- une carte piézométrique représentative d'un régime permanent (régime d'équilibre moyen de la nappe sans influence de pompage),
- une carte piézométrique en régime influencé (en cours de pompage) en hautes eaux,
- une carte piézométrique en régime influencé en basses eaux.

3.1. CARTE PIEZOMETRIQUE EN REGIME PERMANENT

Le régime permanent de la nappe représente son état d'équilibre naturel sans l'influence de pompages. Pour effectuer son tracé, les côtes piézométriques moyennes des ouvrages (exprimées en m NGM) ont été calculées à partir des chroniques disponibles.

Les côtes topographiques du lit de la rivière relevées sur la base de la carte IGN au 1/25000 présentent quelques anomalies compte tenu de l'encaissement de la rivière. Par conséquent, à défaut de nivellement de la rivière, il n'a pas été possible de caler de manière précise la piézométrie sur les côtes IGN à proximité de la rivière.

La carte piézométrique est présentée illustration 15.

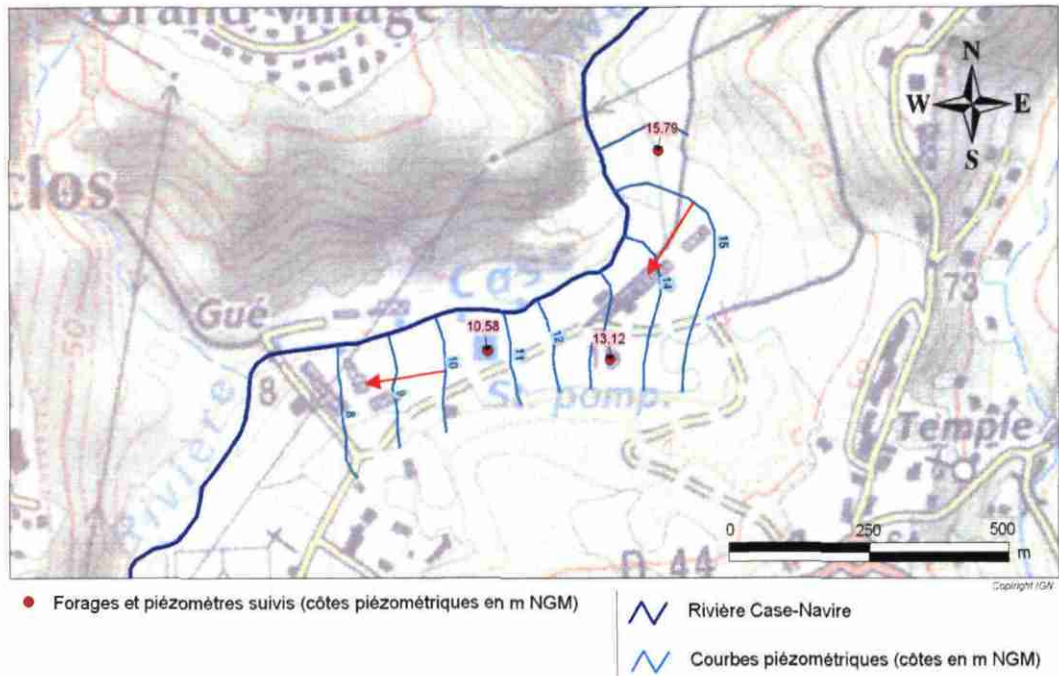


Illustration 15 : Esquisse de carte piézométrique en régime permanent du secteur de Case Navire (Avril 2007)

Nb : Le nombre restreint de point de mesures des niveaux d'eau souterraine n'a pas permis d'élaborer le tracé des isopièzes sur une superficie plus étendue.

L'interprétation de la carte permet de déterminer que :

- les écoulements de la nappe s'effectuent l'amont de la vallée vers l'aval (du nord-est au sud-ouest),
- le gradient de la nappe est d'environ 1%.

L'incertitude des cotes IGN de la rivière et le manque de données piézométriques ne permettent pas de caractériser de manière univoque les échanges nappe/rivières en régime permanent non influencé. L'interprétation de la carte piézométrique de régime permanent est donc limitée. Il aurait été particulièrement utile de disposer d'un piézomètre en rive droite de la rivière « Case-Navire ».

3.2. CARTE PIEZOMETRIQUE EN SITUATION DE POMPAGE

Les cartes piézométriques en conditions influencées ont été tracées à partir des mesures de rabattements effectuées sur les 3 ouvrages du site pendant la réalisation des deux pompages d'essais de longue durée de 2006 et 2007.

Il a été élaboré une carte de situation en basses eaux, tracée sur la base des relevés effectués le 27 avril 2007 en fin de pompage de longue durée (pompage effectué à un débit de $33 \text{ m}^3/\text{h}$).

La carte influencée de hautes eaux a été tracée à partir des mesures réalisées pendant le pompage de longue durée de saison des pluies 2006 (pompage effectué à un débit de $35 \text{ m}^3/\text{h}$).

Ces cartes sont à interpréter avec beaucoup de précaution dans la mesure où l'absence de mesures piézométriques en aval du pompage et en rive droite de la rivière Case-Navire limite la précision du tracé.

Les cartes sont présentées ci après (illustrations 16 et 17).

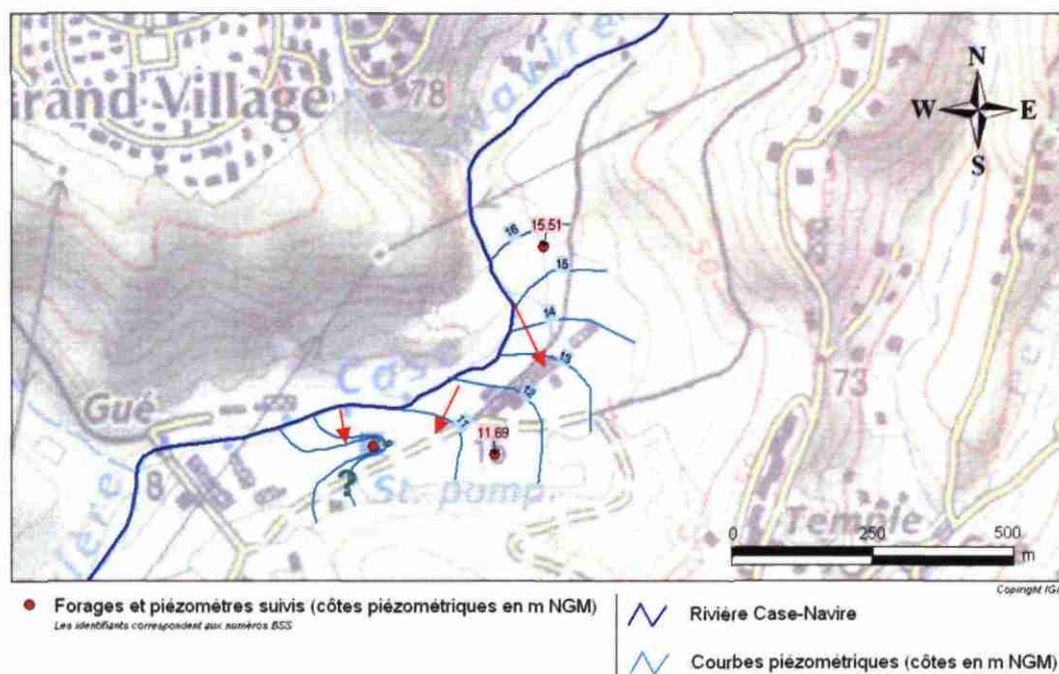


Illustration 16 : Esquisse piézométrique de la nappe en régime influencé – Situation de basses eaux – saison sèche – 27 avril 2007

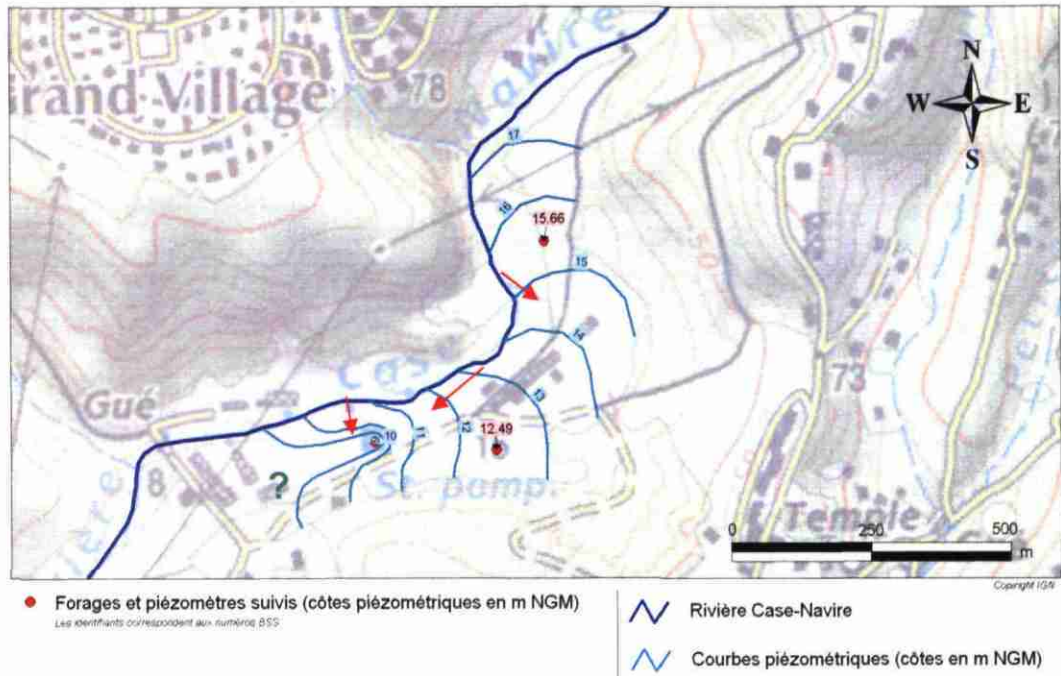


Illustration 17 : Esquisse piézométrique de la nappe en régime influencé – situation de hautes eaux – saison des pluies 2006

Les deux cartes piézométriques montrent un certain gradient de la rivière vers la nappe. Cette situation est mise en évidence sur la quasi-totalité du secteur. L'incertitude de la carte est cependant importante, notamment en aval du forage, où aucune mesure piézométrique ne permet de vérifier l'exactitude du tracé.

Malgré l'absence de donnée, il est possible de suspecter davantage de rabattements dans la zone située en aval du pompage. L'influence du pompage sur la zone aval pourrait certainement s'étendre au-delà de l'isopièze 9 mNGM figuré sur les cartes.

Il n'y a par ailleurs pas de différence notable entre la carte de hautes eaux et la carte de basses eaux, hormis des niveaux légèrement plus élevés sur la carte piézométrique de hautes eaux.

Le tracé de la carte n'a pas pu être étendu au-delà de ce secteur compte tenu de l'absence de donnée supplémentaire.

Les cartes piézométriques montrent donc une alimentation de la nappe par la rivière, ce qui a été corroboré par l'interprétation des pompages d'essais.

4. Zone d'appel du captage et calcul des temps de transferts (isochrones)

La zone d'appel est la partie d'un aquifère où le mouvement normal de l'eau est soumis à l'influence d'un pompage. Au sein de cette zone, les filets d'eau ont tendance à se rapprocher pour se diriger vers l'exutoire (partie captante du forage). La connaissance des limites de la zone d'appel est donc essentielle pour évaluer la vulnérabilité à la pollution d'un captage.

A la différence de la zone d'appel, qui permet d'évaluer la vulnérabilité spatiale du pompage, le calcul des temps de transferts permet d'évaluer la vulnérabilité temporelle du captage, c'est à dire d'estimer les vitesses de transferts d'éventuels polluants au sein de la zone d'appel.

De nombreux paramètres sont susceptibles d'influencer les dimensions de la zone d'appel et les vitesses de transferts au sein de l'aquifère, notamment:

- la structure de l'aquifère (présence ou non d'une couverture protectrice, nappe captive ou nappe libre),
- les vitesses de transfert dans la zone non saturée,
- les relations de la nappe avec la rivière,
- les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (transmissivité, coefficient d'emmagasinement).

L'hétérogénéité du milieu rends ici complexe l'évaluation exacte de chacun de ces paramètres. De ce fait, le tracé de la zone d'appel du captage et le tracé des isochrones ont été effectués en croisant les résultats d'une approche théorique avec les données structurales de l'aquifère concerné par le captage.

Les tracés sont valables pour un débit d'exploitation de 35 m³/h (déterminé au chapitre 2.6).

4.1. APPROCHE THEORIQUE

4.1.1. Principes et solution analytique de la méthode utilisée

La méthode appliquée ici est la méthode de Wyssling. Le seul phénomène pris en compte par cette méthode est l'advection. Il s'agit d'une méthode bidimensionnelle et la recharge n'est pas considérée dans les calculs. Les limites d'alimentation supposées par l'étude interprétative des essais de pompages ne sont donc pas prises en compte durant le calcul. Les hypothèses sont les suivantes :

- le puits est supposé vertical, unique et totalement pénétrant,
- il pompe sur toute l'épaisseur saturée de l'aquifère,
- le régime permanent est supposé atteint,
- l'aquifère peut être assimilé à un milieu poreux infini (c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'influence de conditions aux limites sur le pompage), isotrope et homogène.

Les données utilisées sont les suivantes :

b = épaisseur de l'aquifère (en m)	}	$T = K \cdot b = \text{Transmissivité (en m}^2/\text{s)}$
K = perméabilité (en m/s)		
i = gradient de l'aquifère		
ω = porosité efficace		
Q = débit du puits (en m ³ /s).		

• Dimensionnement du front d'appel - solution analytique

Selon les hypothèses énoncées précédemment, il est possible de déterminer de façon analytique l'extension de l'aire d'alimentation ainsi que des isochrones (courbes d'égal temps de transfert) vers l'ouvrage de captage, comme le montre l'illustration 18.

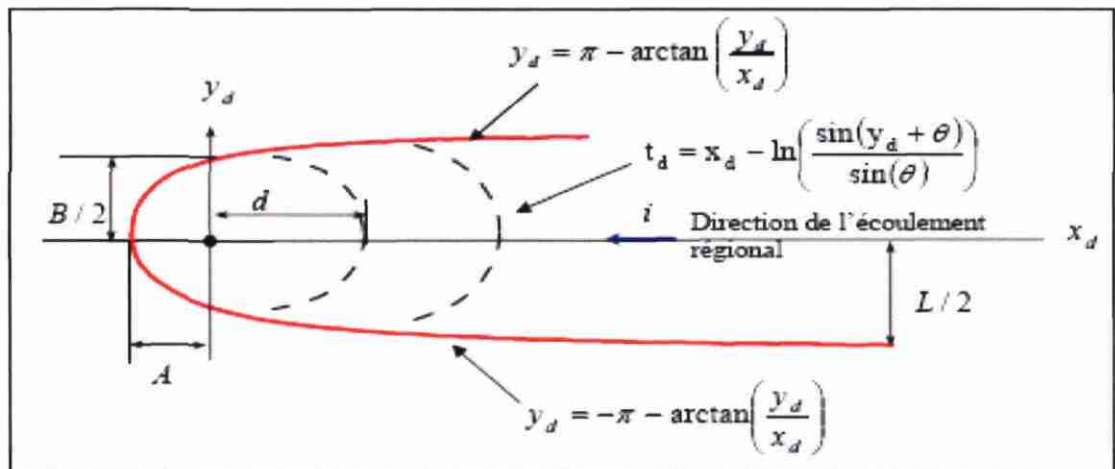


Illustration 18: Représentation de l'aire d'alimentation et des isochrones déterminées par solution analytique

La zone d'appel est déterminée par le calcul. Dans une nappe captive, L est la largeur maximale du front d'appel. Son expression est fournie ci-dessous.

$$L = \frac{Q}{Kbi} = \frac{Q}{Ti} \quad [1]$$

Le rayon d'appel (A), correspondant à la distance entre la limite aval de la zone d'appel et l'ouvrage de captage, se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$A = \frac{Q}{2\pi bKi} = \frac{Q}{2\pi Ti} \quad [2]$$

Enfin, la largeur du front d'appel à hauteur du captage (B), correspondant à la largeur de la limite d'alimentation au droit du puits s'obtient par la formule suivante :

$$B = \frac{L}{2} \quad [3]$$

• Positionnement de l'isochrone – solution analytique

Deux méthodes existent afin de déterminer la distance du puits à l'isochrone considérée (d), selon l'axe des abscisses. Rappelons que cette distance correspond à la distance en amont du captage depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaité.

=> Méthode N°1 (Lallemand-Barrès A et Roux JC, 1999)

Cette méthode suppose le milieu homogène et fournit un positionnement approché de l'isochrone. Pour ce faire, il faut d'abord déterminer la vitesse effective U et la distance l, d'après les formules suivantes :

$$U = \frac{Ki}{\omega} \quad \text{et} \quad l = U \times t \quad [4], [5]$$

La distance recherchée pour positionner l'isochrone (d) est obtenue à l'aide de la formule :

$$d = \frac{l + \sqrt{l(l + 8A)}}{2} \quad [6]$$

=> Méthode N°2 (Rasmussen H, Rouleau A et Chevalier S, 2006)

La seconde méthode revient à utiliser une expression théorique non simplifiée. La valeur de la distance d doit être ici calculée par itération successive permettant de faire correspondre à l'isochrone, au temps t considéré selon l'équation suivante :

$$t = \frac{\omega d}{Ki} - \frac{Q\omega}{2\pi(Ki)^2 b} \ln\left(1 + d \frac{2\pi Kbi}{Q}\right) \quad [7]$$

4.1.2. Application de la solution analytique

• Dimensionnement du front d'appel

Les pompages d'essai de longue durée ont été réalisés à un débit de 35 m³/h (en saison humide) et 33 m³/h (en saison sèche). Le calcul a été réalisé pour les paramètres suivants :

- $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$ (soit $9,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)
- $T = K \cdot b = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- $b = 50 \text{ m}$ (d'après l'étude des coupes lithologiques des forages)
- $i = 0,01$

D'après l'expression [1], la largeur maximale de l'aire d'alimentation (L) est estimée à 972 m. Cette largeur est importante par rapport à l'échelle d'étude.

D'après l'expression [2], le rayon d'appel est estimé à 154m.

D'après l'expression [3], la largeur du front d'appel à hauteur du captage est estimée à 486 m.

• Positionnement de l'isochrone à $t = 50 \text{ j}$

=> Méthode N°1 (Lallemand-Barrès A et Roux JC, 1999)

Pour un temps de transfert de 50 jours et une porosité de 0,1% (correspondant au coefficient d'emménagement en considérant une nappe libre), les valeurs obtenues d'après les expressions [4] et [5] sont :

- $U = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 17,28 \text{ m/jours}$
- $l = 864 \text{ m}$

Ainsi, d'après l'expression [6] la distance recherchée (d) vaut

$d = 1106 \text{ m.}$

=> Méthode N°2 (Rasmussen H, Rouleau A et Chevalier S, 2006)

La méthode N°2 a été mise en application en effectuant les itérations nécessaires au calcul. L'expression [6] a été intégrée sur tableur. Pour un temps de transfert (t) de 50 jours, la distance d a été évaluée à :

$d = 1200 \text{ m.}$

• Comparatif des deux méthodes appliquées et tests de sensibilité

Les valeurs obtenues pour ces deux méthodes sont de même ordre de grandeur. Elles sont toutes deux relativement élevées par rapport à notre échelle d'étude. L'isochrone au temps t est déterminé, à partir de cette distance « d » par l'arc de cercle de rayon « d » centré au forage, jusqu'à son intersection avec l'aire d'alimentation (déterminée précédemment – Cf. §4.2.1). Cette simplification est conservative, l'isochrone réelle se situant à l'intérieur de l'arc de cercle alors tracé.

Les tableaux suivants présentent les valeurs de la distance « d » entre l'isochrone 50 jours et le forage 1177ZZ0078-CNF1 en faisant varier les valeurs de transmissivité T, de porosité efficace ω et le débit de pompage. Toutes les autres valeurs nécessaires pour le calcul restent celles utilisées précédemment.

$\omega = 0,05 \%$		Transmissivité (m/s2)					
		2,05E-03	1,00E-03	7,50E-04	5,00E-04	2,50E-04	1,40E-04
Q (m3/h)	10	3585	1812	1405	1015	663	530
	15	3606	1852	1454	1077	741	615
	20	3627	1890	1500	1134	809	687
	25	3647	1926	1543	1186	871	751
	30	3667	1962	1585	1235	927	809
	35	3687	1996	1625	1281	979	862
	40	3707	2029	1663	1325	1027	912

$\omega = 0,5 \%$		Transmissivité (m/s2)					
		2,05E-03	1,00E-03	7,50E-04	5,00E-04	2,50E-04	1,40E-04
Q (m3/h)	10	393	237	204	174	147	136
	15	410	261	229	201	175	164
	20	426	281	251	223	198	187
	25	441	300	271	243	218	208
	30	455	317	288	262	237	227
	35	468	333	305	278	254	244
	40	481	348	320	294	270	260

$\omega = 0,1 \%$		Transmissivité (m/s2)					
		2,05E-03	1,00E-03	7,50E-04	5,00E-04	2,50E-04	1,40E-04
Q (m3/h)	10	1813	945	750	567	405	343
	15	1834	981	793	618	463	404
	20	1854	1015	832	663	514	456
	25	1873	1046	868	703	558	502
	30	1892	1077	902	741	599	543
	35	1911	1106	934	776	636	581
	40	1930	1134	965	809	671	617

Illustration 19: Tableaux des valeurs de d (en m) suivant les valeurs de transmissivité, de porosité efficace et de débit de pompage

Ces tableaux montrent que la porosité efficace est un paramètre d'autant plus influant que la transmissivité est forte. La distance d est réduite de moitié pour une porosité efficace passant de 0,05% à 0,1% puis divisé par 4 environ pour une porosité efficace passant de 0,1% à 0,5%. Cependant pour une transmissivité faible, cette influence est moindre.

Quant à la variation du débit de pompage, son incidence est globalement faible sur la distance d pour une forte transmissivité, même en multipliant sa valeur par 4. Pour une transmissivité faible, multiplier le débit par 4 conduit à multiplier la distance de l'isochrone par 2.

Cette méthode théorique ne prend par ailleurs pas en compte les éventuels apports naturels de la rivière Case Navire ou du ruissellement occasionné par une topographie encaissée lors de pluies abondantes.

4.2. TRACE DE LA ZONE D'APPEL ET DE L'ISOCHRONE A 50 JOURS

L'illustration 20 ci dessous présente les résultats graphiques des calculs précédents de l'aire d'alimentation du captage et de l'isochrone de 50 jours.

Aux résultats théoriques ont été superposées les limites d'extension immédiate de l'aquifère constitué d'alluvions et de ponces. Le croisement effectué entre l'enveloppe d'alimentation théorique et l'extension de ces formations a ainsi permis de définir la zone d'alimentation immédiate du puits de pompage.

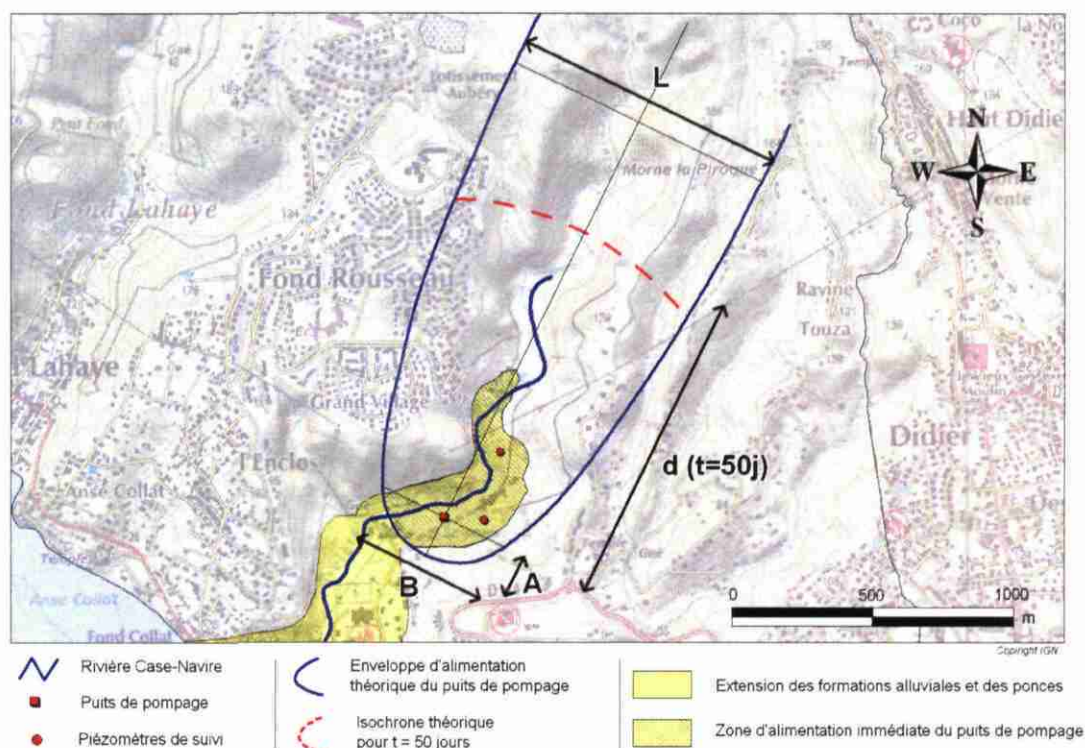


Illustration 20 : Aire d'alimentation du puits et isochrone 50 jours

L'aire d'alimentation théorique présente une superficie assez étendue. Dans la réalité, cette surface l'est beaucoup moins. En effet, il est nécessaire de prendre en compte les limites immédiates de l'aquifère capté (constitué d'alluvions et de ponces (Cf. §1.2)). La zone d'alimentation immédiate du puits de pompage s'avère ainsi beaucoup plus réduite (figurée jaune hachurée sur l'illustration 20 ci-dessus).

Il est cependant nécessaire de garder en considération que l'aquifère constitué d'alluvions et de ponces est localement en relation hydraulique avec les formations andésitiques sous jacentes (les formations 2α (Cf. § 1.2)). L'extension de ces formations pourrait alors étendre l'aire d'alimentation à l'ensemble du bassin hydrographique. Cette zone est toutefois éloignée. Sa prise en compte dans le cadre

de la zone d'appel immédiate du puits de pompage n'est donc pas nécessaire. (Hormis dans le cadre du tracé des périmètres de protection éloignés).

La zone d'appel du captage aurait pu être tracée de manière manuelle à partir des cartes piézométriques. Cependant, le manque de mesures piézométriques en aval du forage n'a pas permis de l'appliquer. Des données piézométriques supplémentaires auraient été nécessaires pour affiner cette interprétation.

4.3. VITESSES DE TRANSFERTS RIVIERE/NAPPE

Les pompages d'essais et les cartes piézométriques mettent en évidence les échanges nappe/rivière en conditions de pompage. Il est important de pouvoir quantifier les vitesses de transferts rivière/nappe pour caractériser la vulnérabilité de l'ouvrage aux pollutions accidentelles.

La méthode employée ici pour déterminer les vitesses de transferts consiste à calculer la vitesse linéaire d'un flux d'eau en écoulement uniforme selon le schéma suivant :

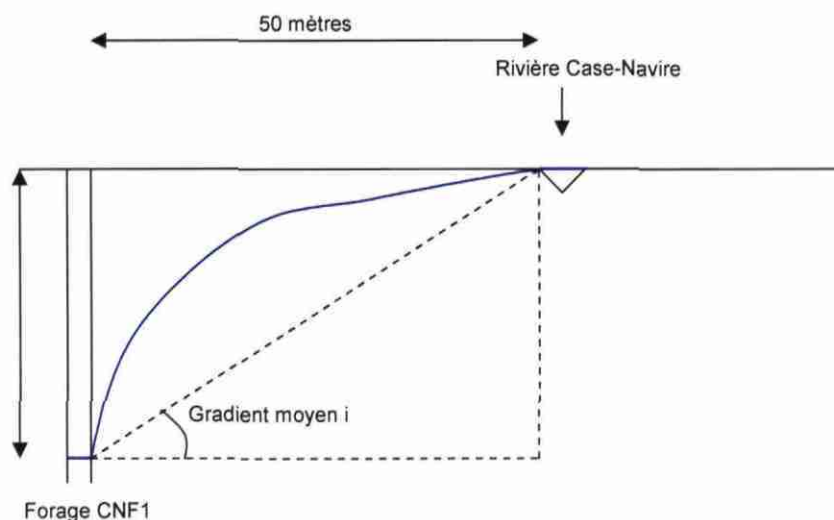


Illustration 21 : Schéma simplifié des relations nappe/rivière au droit de l'ouvrage CNF1

On applique la relation suivante :

$$V \text{ (m/s)} = (K \cdot i) / \omega$$

Avec

K : la perméabilité des terrains (déduite de la transmissivité et de l'épaisseur de l'aquifère),

i : le gradient moyen de la nappe entre l'ouvrage et la rivière.

ω : la porosité efficace des terrains

Cette expression est valable en considérant un milieu saturé, homogène et isotrope.

En considérant au droit de l'ouvrage une perméabilité $K = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s, un gradient $i = 0.24$ (déduit des cartes piézométriques en régime influencé) et une porosité efficace $\omega = 0,001$, au droit de l'ouvrage CNF1 (entre l'ouvrage et la rivière), on déduit :

$$V = 4.8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

L'ouvrage étant situé à une distance de 50 mètre de la rivière, il faudrait environ trois heures à un polluant se déplaçant à la même vitesse que l'eau pour passer de la rivière à la partie captante de l'ouvrage CNF1. Cette vitesse est surestimée car elle ne prend pas en compte les vitesses de déplacement réelles de chaque polluant (vitesses souvent inférieures à la vitesse de déplacement de l'eau).

Cette méthode permet cependant de fournir un ordre de grandeur des vitesses potentielles de transferts de polluants de la rivière à l'ouvrage CNF1. **L'ordre de grandeur de 3 heures peut toutefois être retenu à titre de précaution.**

5. Analyses de la qualité de l'eau

L'ensemble des investigations réalisées a pour objet de caractériser le potentiel de la nappe à une exploitation pour l'eau potable. Dans cet objectif, de nombreux prélèvements d'eau pour analyses ont été effectués sur le secteur. Ce chapitre rend compte des résultats des analyses effectuées.

5.1. DONNEES DISPONIBLES

L'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078) a fait l'objet d'une dizaine de campagnes de prélèvements et d'analyses successives depuis 1987. Parmi ces campagnes, 3 ont été effectuées en 2006-2007. Ces derniers résultats ont été récupérés pour interprétation dans le cadre du présent projet.

Par ailleurs, le BRGM a en charge la gestion du réseau de suivi qualitatif des eaux souterraines de Martinique. Dans ce cadre, un suivi est effectué à une fréquence semestrielle sur l'ouvrage Z165 (1177ZZ0165).

5.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

5.2.1. Critères d'évaluation

L'évaluation de la qualité des eaux de l'ouvrage en vue d'une utilisation pour l'eau potable nécessite la prise en compte de nombreux paramètres propres à cet usage. Les différents éléments et paramètres analysés ont donc été interprétés par classement au sein de classes d'aptitudes à la production d'eau potable. Parmi les paramètres analysés, les classes d'aptitudes ont été définies comme suit, selon la méthodologie et les seuils définis par le « SEQ eaux souterraines (« Système d'Evaluation de la Qualité des eaux souterraines » version 0.1, août 2003) ».

	Eau de qualité optimale pour être consommée
	Eau de qualité acceptable pour être consommée
	Eau nécessitant un traitement de potabilisation
	Eau inapte à la production d'eau potable

Illustration 22 : Classes d'aptitudes à la production d'eau potable

Les seuils de quantification des éléments recherchés et les noms des laboratoires d'analyses peuvent être consultés en annexe 5 sur les bordereaux d'analyses.

Dans les tableaux suivant, les couleurs affichées pour chaque élément correspondent aux 4 classes d'aptitude de l'illustration 22 ci dessus.

5.2.2. Résultats des analyses

• Fer et Manganèse

Les éléments Fer et Manganèse sont présents naturellement dans les eaux souterraines. Le traitement pour ces éléments n'est considéré comme réalisable qu'en deçà d'une teneur de 10 mg/l pour le fer et 1 mg/l pour le manganèse.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats des différentes analyses effectuées sur le Fer et le Manganèse. L'application des critères d'évaluation du « SEQ eaux souterraines » et des seuils associés met en évidence le caractère des teneurs en Fer et Manganèse.

	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Seuil de potabilité	0.05	0.02
Limite maximale de potabilisation	10	1
Dates de prélèvements	-	-
11/08/1987	2.9	0.45
07/09/1989	0.5	0.44
30/01/1990	2.3	0.6
08/03/1990	3.05	0.56
15/03/1990	3.2	0.5
12/06/1991	0.32	0.64
09/01/1992	3.6	0.64
30/08/2006	-	0.632
06/12/2006	0.481	0.711
25/04/2007	5.082	0.659

Illustration 23 : Résultats d'analyses concernant les teneurs en « Fer et Manganèse »

Compte tenu des résultats d'analyse, l'eau n'est pas potable à son état naturel. Le caractère limité des teneurs permet néanmoins l'application d'un traitement de potabilisation. Un traitement se justifie dès lors que les concentrations dépassent 0.2 mg/l pour le fer et 0.05 mg/l pour le manganèse. Il est à noter pourtant le caractère proche des teneurs mesurées avec ces derniers seuils. On note en effet une teneur en Fer mesurée à 5.082 mg/l le 25/04/2007. Des teneurs assez similaires avaient été mesurées en 1987 et en 1990 : la teneur élevée mesurée le 25/04/2007 ne semble donc pas avoir de lien avec le pompage de longue durée.

Les analyses effectuées depuis 1987 sont par ailleurs toujours restées inférieures aux seuils de potabilisation.

• Micro-organismes

Les paramètres étudiés pour caractériser la contamination des eaux par les micro-organismes sont les quantités de bactéries « Escherichia Coli » et « Entérocoques intestinaux ». Les valeurs indiquées correspondent au nombre détecté dans 100 ml d'échantillon analysé. Les eaux destinées à la consommation humaine ne doivent pas dépasser, pour ces deux paramètres le seuil de 20 ufc/100 ml. Le seuil de potabilisation est cependant très important puisqu'il atteint respectivement 20 000 et 10 000 ufc.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de l'analyse bactériologique.

	Escherichia coli (ufc/100ml)	Entérocoques intestinaux (ufc/100ml)
Seuil de potabilité	0	0
Limite maximale de potabilisation	20000	10000
Dates de prélèvements		
25/04/2007	< 1	< 1

Illustration 24 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « micro-organismes »

Une seule analyse bactériologique a été effectuée. Celle-ci révèle l'absence de micro-organismes au sein du prélèvement effectué le 25 avril 2007.

D'un point de vue bactériologique, les eaux du captage sont aptes à la production d'eau potable. Un traitement effectué de manière systématique devrait permettre de maintenir dans le réseau une bonne qualité bactériologique.

• Minéralisation et salinité

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats des analyses concernant les paramètres concernant la minéralisation et la salinité.

	Cond (µs/cm)	pH	Ca++ (mg/l)	Mg++ (mg/l)	Na+ (mg/l)	K+ (mg/l)	Cl-- (mg/l)	SO4-- (mg/l)	Fluorures (mg/l)
Seuil de potabilité	>= 180 et <= 400	>= 6.5 et <= 8.5	>= 32 et <= 160	30	20	10	25	25	>= 0.7 et <= 1.5
Limite maximale de potabilisation	< 180 ou > 2500 et <= 4000	< 6.5 et >= 5.5	< 32 ou > 160	400	200	70	200	250	> 1.5 et >= 10
Dates de prélèvements									
11/08/1987	515	6.4	40	21	51	4	57	6	-
07/09/1989			41	20	68	13	130	7	-
30/01/1990	505	6.9	43	19	51	1	75	6	-
08/03/1990	555		44	20	48	4	80	5	-
15/03/1990			45	17	45	4	85	8	-
12/06/1991	592	7.0	45	21	64	3	109	7	-
09/01/1992	638	6.8	41	22	85	4	80	7	-
30/08/2006	881	6.8	52	32	80	4	169	11	0.048
06/12/2006	838	6.7	41	32	72	4	144	14	0.031
25/04/2007	903	6.75	56	32	77	4.1	174	10.5	0.031

Illustration 25 : Résultats des analyses concernant la « minéralisation et la salinité »

Ces résultats traduisent un état de minéralisation apte à la production d'eau potable. Il est à noter la relative stabilité des paramètres au cours des différents prélèvements effectués. Les teneurs en chlorures ainsi que la conductivité montrent une tendance à la hausse depuis 20 ans. Cette tendance n'est toutefois pas alarmante mais mériterait une étude plus poussée.

Du point de vue de la minéralisation et de la salinité, les eaux prélevées sont aptes à la production d'eau potable.

• Nitrates

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats des analyses concernant les teneurs en nitrates.

	NO3- (mg/l)
Seuil de potabilité	25
Limite maximale de potabilisation	100
Dates de prélèvements	
11/08/1987	0
07/09/1989	0.17
30/01/1990	< LQ
08/03/1990	< LQ
15/03/1990	< LQ
12/06/1991	< LQ
09/01/1992	< LQ
30/08/2006	0.12
06/12/2006	< LQ
25/04/2007	< LQ

Illustration 26 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « nitrates »

Les teneurs en nitrates s'avèrent toutes faibles voir nulles. Les teneurs s'avèrent ainsi loin du seuil de potabilité de 50 mg/l. Ces faibles teneurs en nitrates peuvent être dues à :

- l'absence d'apport anthropique, et/ou à
- des phénomènes de dénitrification (cas des nappes captives).

Cette interprétation n'entrant pas dans le cadre de cette étude, il conviendra de retenir que **du point de vue des teneurs en nitrates, les eaux prélevées sont aptes à la production d'eau potable.**

• Matières azotées (hors nitrates)

L'ion ammonium (NH_4^+) est la forme la plus réduite de l'azote dans les eaux naturelles. Les sources d'azote ammoniacal sont couramment les eaux météoriques, la réduction des nitrates par des bactéries ou la dégradation de la matière organique. La présence de nitrites en quantité importante est donc souvent indicatrice d'activité bactérienne importante.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats des analyses concernant les teneurs en matières azotées (hors nitrates).

	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)
Seuil de potabilité	0.05	0.05
Limite maximale de potabilisation	4	0.7
Dates de prélèvements		
30/08/2006	0.26	< 0.05
06/12/2006	< 0.1	< 0.05
25/04/2007	0.13	< 0.05

Illustration 27 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « matières azotées »

Les teneurs en nitrites des différentes analyses se sont révélées inférieures aux seuils de quantification.

Les faibles teneurs en ammonium (NH_4^+) pourraient par ailleurs indiquer une activité bactérienne très limitée voire nulle.

Par conséquent, **du point de vue des teneurs en matières azotées, les eaux prélevées sont aptes à la production d'eau potable.**

• Micropolluants minéraux

De nombreux micropolluants minéraux peuvent être présents dans les eaux souterraines. Parmi eux, 6 ont été retenus pour qualifier l'altération « micropolluants minéraux ».

Le tableau ci dessous synthétise les résultats des analyses concernant les teneurs en micropolluants minéraux.

	Arsenic (µg/l)	Baryum (µg/l)	Zinc (µg/l)	Aluminium (µg/l)	Bore (µg/l)	Nickel (µg/l)
Seuil de potabilité	5	100	100	50	50	10
Limite maximale de potabilisation	100	700	5000	200	1000	40
Dates de prélèvements						
30/08/2006	< 5	30	< 10	< 5	110	< 5
06/12/2006	< 5	30	10	-	-	-
25/04/2007	< 5	30	60	-	-	-

Illustration 28 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « micro-polluants minéraux »

La présence de ces éléments en très faible quantité est le plus souvent attribuée au fond géochimique (et donc à une teneur naturelle). C'est ce qui est observé sur les éléments analysés, en particulier pour le bore dont la concentration mesurée est caractéristique du fond géochimique rencontré en Martinique.

Du point de vue de ces micropolluants minéraux, l'eau prélevée est apte à la production d'eau potable.

• Pesticides

Une analyse a été effectuée à partir d'un prélèvement effectué le 03 octobre 2006. Au total, 417 molécules ont été recherchées. Parmi elles figurent les molécules couramment employées en Martinique dans certaines pratiques agricoles.

Aucune substance n'a été mise en évidence. Cette absence de produit de type pesticide est à mettre en relation avec l'absence de parcelles agricoles en amont de l'ouvrage. Le risque d'épandage sur les sols de molécules phytosanitaires est donc extrêmement limité.

Par conséquent, du point de vue des pesticides, l'eau prélevée est apte à la production d'eau potable.

• Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

	Benzo(a)pyrène (µg/l)	HAP (somme) µg/l
Seuil de potabilité	0.005	0.05
Limite maximale de potabilisation	0.2	1
Dates de prélèvements		
30/08/2006	< 0.005	< 0.005

Illustration 29 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques »

Nb : HAP (somme) = [benzo(b) fluoranthène] + [benzo(ghi)pérylène] + [idéno(1,2,3-cd)pyrène].

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques ont été recherchés au sein d'un échantillon prélevé le 30 août 2006. **Aucune substance n'a été mise en évidence** (compte tenu de la limite de quantification de 0.005 µg/l).

• Micropolluants organiques

	Tétrachloroéthylène (µg/l)	Trichloroéthylène (µg/l)
Seuil de potabilité	5	5
Limite maximale de potabilisation	200	200
Dates de prélèvements		
30/08/2006	< 0.2	< 0.1

Illustration 30 : Résultats des analyses concernant les teneurs en « micro-polluants organiques »

Une recherche de micropolluants organiques a été effectuée sur la base d'un prélèvement effectué le 03 octobre 2006. **Aucune substance n'a été mise en évidence** (compte tenu des limites de quantifications de 0.2 et 0.1 µg/l).

6. Conclusion

Dans l'objectif de compléter les ressources pour l'approvisionnement en eau potable de la commune de Schoelcher, la basse vallée de Case Navire a fait l'objet d'une multitude de campagnes de recherche en eau. Plusieurs campagnes de forages et d'études hydrogéologiques associées (pompages d'essais) y ont ainsi été réalisées entre les années 1973 et 1990. Malgré le potentiel aquifère important mis en évidence, aucune mise en exploitation n'avait été effectuée.

La ressource en eau potable du territoire de la CACEM et notamment de la commune de Schoelcher reste à ce jour déficitaire en période de Carême. Dans ce cadre, la CACEM a souhaité reprendre en 2006 les investigations, en partenariat avec le BRGM. L'objectif était de finaliser la **caractérisation du potentiel à l'AEP de la nappe de Case Navire d'un point de vue quantitatif et qualitatif sur la base de pompages d'essais et d'analyses physico-chimiques sur le forage existant CNF1.**

1) Les résultats des pompages d'essais par paliers de débit réalisés en 1973, 1987 et 1990 sur ce forage ont été compilés afin d'estimer les pertes de charges quadratiques (turbulentes) de l'ouvrage, élément essentiel à l'évaluation du débit optimal d'exploitation. Les résultats des pompages de longue durée réalisés dans le cadre de ce projet ont été couplés à ceux issus des études précédentes. Ceci a permis d'affiner la connaissance hydrodynamique de la nappe. La transmissivité de la nappe a été calculée à $1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et son coefficient d'emmagasinement à 1.10^{-3} . Ce dernier coefficient est caractéristique d'une nappe semi-captive. Les relations nappe/rivière ont été mises en évidence. Il s'avère ainsi qu'en condition d'exploitation, la nappe draine les eaux de la rivière Case-Navire.

Tous ces éléments permettent d'estimer le débit optimal d'exploitation de l'ouvrage CNF1 à $35 \text{ m}^3/\text{h}$.

2) Afin d'évaluer la vulnérabilité du captage, l'extension de la zone d'appel de l'ouvrage a été estimée en croisant les résultats d'une approche mathématique avec les données structurales de l'aquifère. Un calcul des vitesses de transferts potentielles au sein de la nappe a été réalisé. Celui-ci a permis de positionner l'isochrone correspondant à un temps de transfert de 50 jours. Les vitesses de transferts rivière/ouvrage ont également été calculées. Les résultats de cette démarche montrent que la nappe étudiée présente une certaine vulnérabilité compte tenu de ses relations avec la rivière « Case Navire » en condition d'exploitation. Les nombreuses analyses d'eau réalisées sur l'ouvrage CNF1 depuis 1987 montrent cependant l'aptitude de l'ouvrage à être exploité en vue d'une utilisation pour l'AEP sous réserve d'établir un traitement pour les seuls éléments Fer et Manganèse.

En conclusion, à l'issue de l'étude des pompages d'essai réalisés et des analyses qualitatives de l'eau, **il n'y a pas d'apparente contre-indication à utiliser l'ouvrage CNF1 (1177ZZ0078) comme captage pour l'alimentation en eau potable sous réserve de mise en œuvre des procédures réglementaires d'autorisation (périmètres**

de protection) et de l'instauration d'un suivi qualitatif des eaux de la rivière Case-Navire en amont du forage CNF1.

7. Références bibliographiques

Andreieff P., Baubron J.C., Westercamp D. (1988) – Histoire géologique de la Martinique (petites Antilles) : biostratigraphie (foraminifères), radiochronologie (potassium – argon), évolution volcano-structurale. – Géologie de la France, n°2-3, 1988, pp.39-70.

Collet Th., Paulin Ch. (1988) – Détermination des périmètres de protection des captages de Schoelcher (vallées de Case-Navire et de Fond Lahaye). Rapport BRGM 88 MTQ 227, Mairie de Schoelcher, décembre 1988.

Collet Th., Petit V. (1988) – Evaluation des ressources en eau souterraine sur la commune de Schoelcher, Etat d'avancement des travaux au 01/02/88. Note BRGM, février 1988.

Collet T., Paulin C., Petit V. (1989) – Recherche d'eau souterraine dans la vallée de Case-Navire, résultats de la campagne de prospection du radon dans les gaz des sols et implantation du piézomètre de reconnaissance – Rapport BRGM n°89 MTQ 003, Mars 1989

Cottez S., Allard J.F., (1974) – Etude hydrogéologique de la vallée de Case Navire. Rapport BRGM 74 ANT 01, Ministère de l'équipement, D.D.E., ville de Schoelcher, janvier 1974.

Lachassagne P., Belz H., Collet th., Paulin ch., Petit V., Pointet Th. (1992) – Evaluation du potentiel en eau souterraine de la commune de Schoelcher – Martinique – Rapport de synthèse des travaux de recherche d'eau souterraine et d'évaluation de la ressource menés dans les vallées de Case Navire et Fond Lahaye. Rapport BRGM R34434 ANT 4S 92. 49p., 10 ann.

Lachassagne P. (1992) – Demande d'autorisation de mise en exploitation des forages d'eau de la vallée de Case-Navire, commune de Schoelcher, Martinique. Rapport BRGM R34340 ANT 4S 92. 11p., 2 ann.

Lallemand-Barrès A., Roux J.C. (1999) – Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. 335p. Editions BRGM.

Mobeche J.P., Jubenot A. (1987) – Compte rendu d'installation d'un dispositif de mesures hydro-pluviométriques sur le bassin inférieur de la rivière Case-Navire. ORSTOM, centre de Fort de France ; département de la Martinique, ville de Schoelcher, juin 1987.

Rasmussen H., Rouleau A., Chevalier S. (2006) – Outils de détermination d'aires d'alimentation et de protection de captages d'eau souterraine. 311p. Document diffusé par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/alim-protec/index.htm>

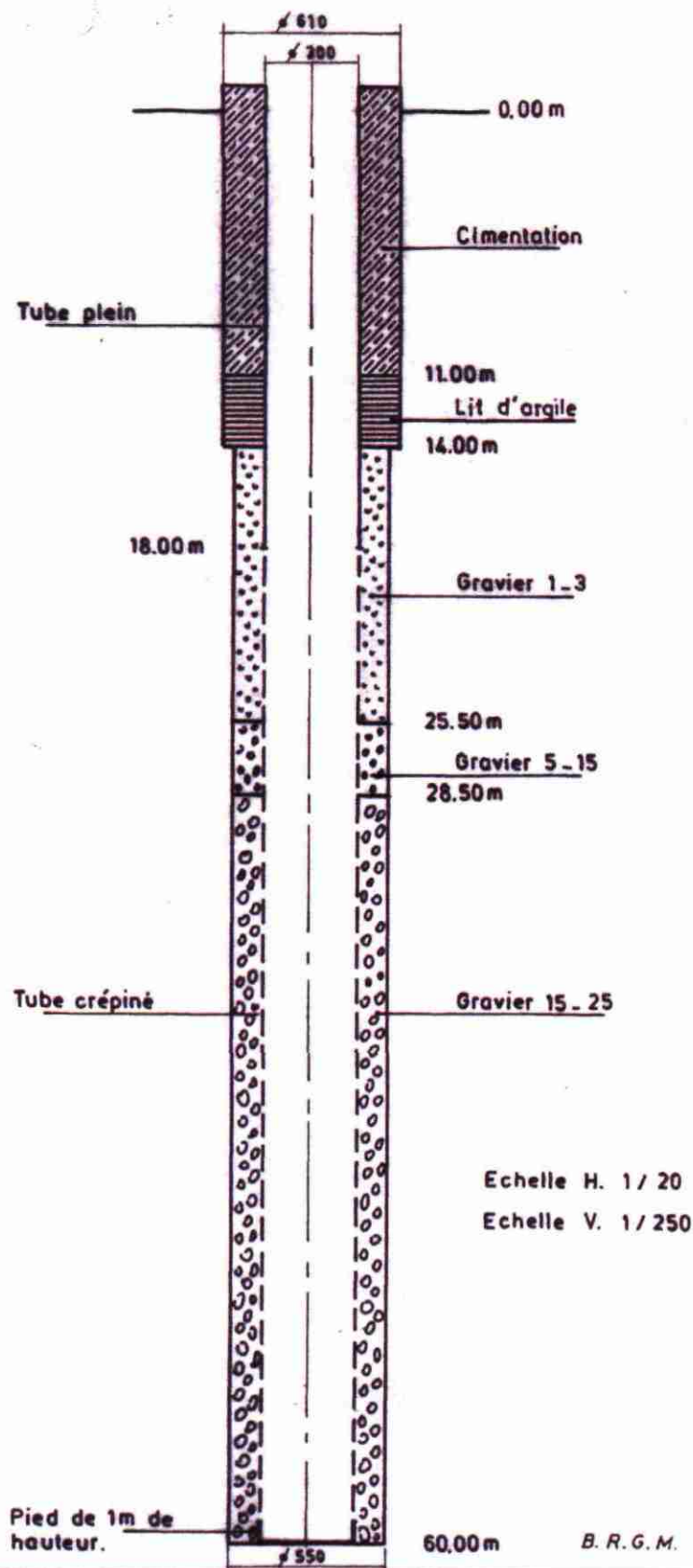
Westercamp D., Pelletier B., Thibaut P.M., Traineau H. (1990) – Carte géologique de la France (1/50.000), feuille Martinique – Notice explicative par Westercamp D., Andreieff. P, Bouisse P., Cottez S., Batistini R. (BRGM, 1989), 246p.

SEQ – Eaux souterraines – Rapport de présentation, v 0.1, Août 2003 (MEDD, Agences de l'eau, BRGM).

Annexe 1

Coupes lithologiques des ouvrages suivis dans le cadre des différents pompages d'essais effectués

FIGURE 2 - Coupe technique du forage CNF1



DÉPT : 972 COMMUNE : SCHOELCHER

Indice de
classement

1177 - 78

Désignation : Hydro. Case Navire - CN.S.1

x = 704,58

y = 1617,44

Coupe au : 1/300

établi par : B.R.G.M.

interprété par : B.R.G.M.

Zel = 15,00

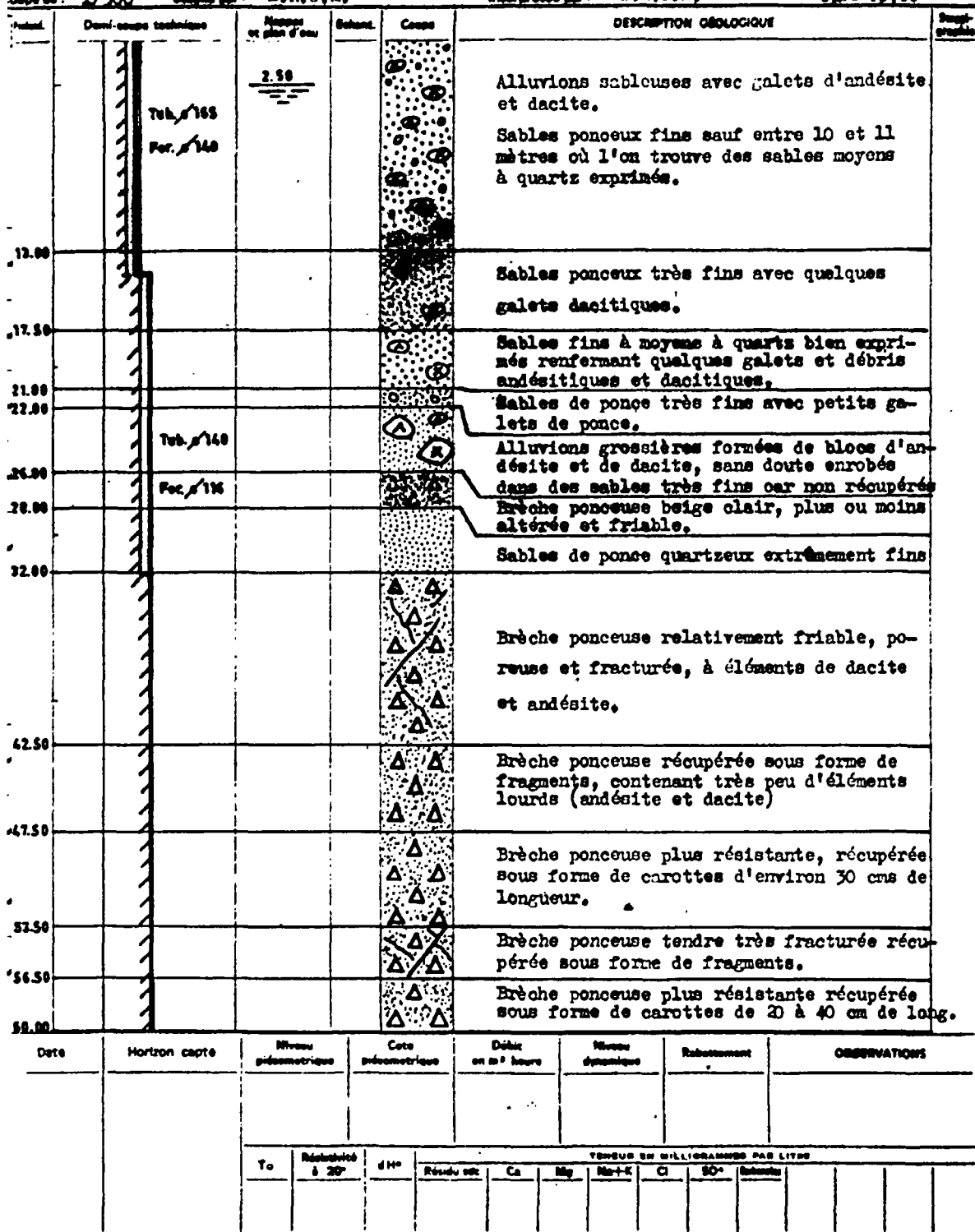
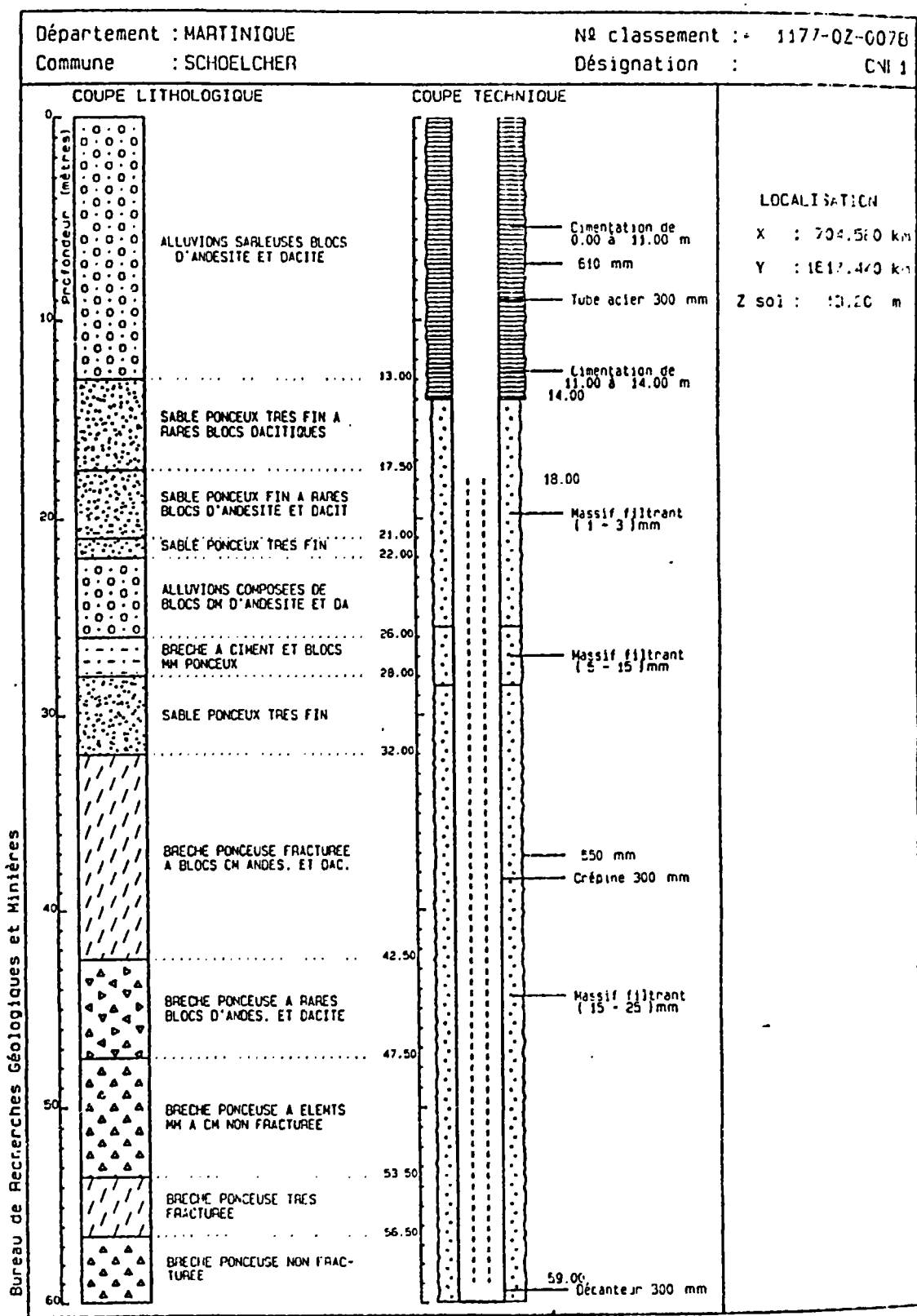


FIGURE 3

88 MQE 227

Figure 5 - Coupe lithologique et technique du sondage N° 1177 ZZ 078



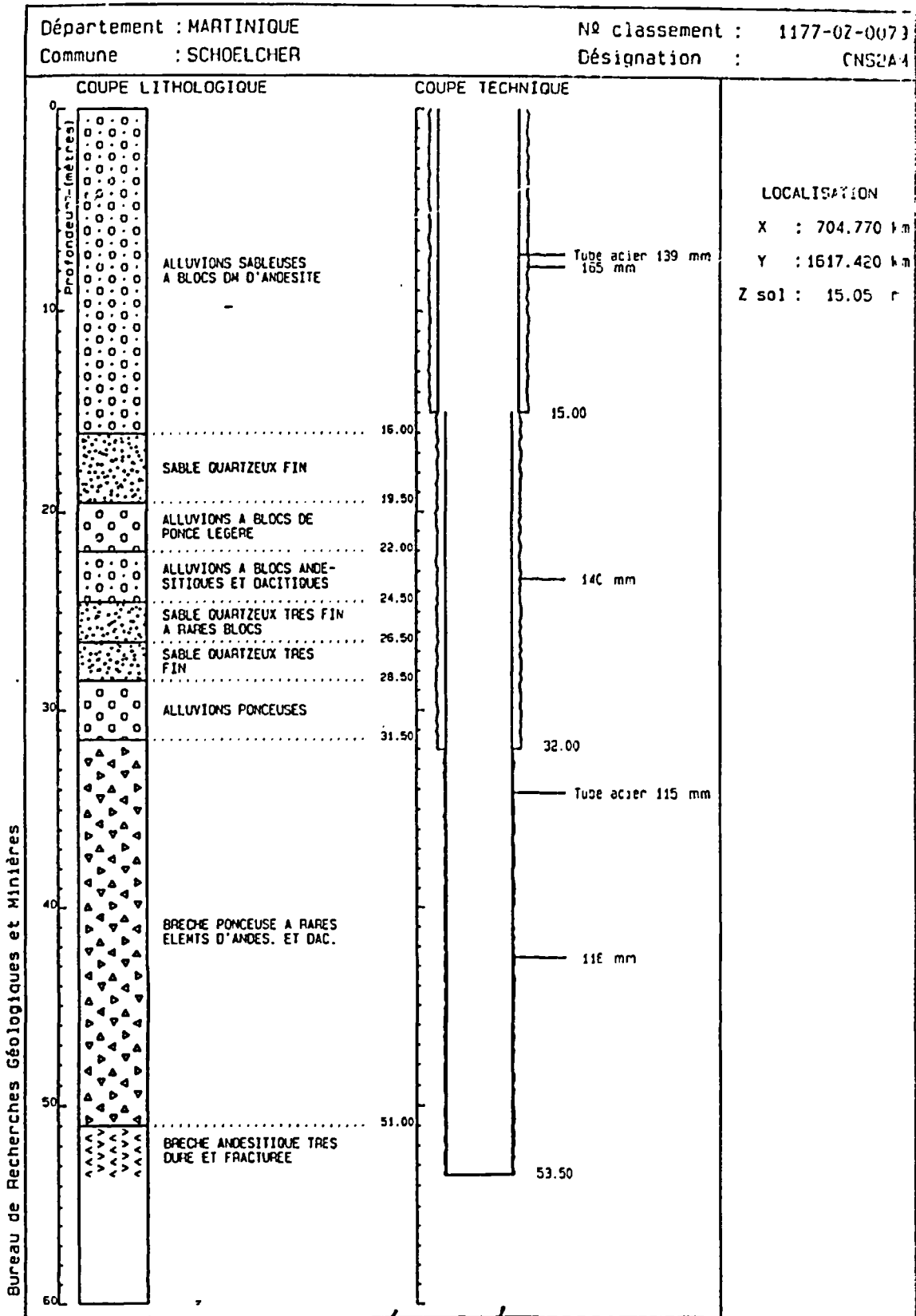


Figure 7 - Coupe lithologique et technique du sondage N° 1177 ZZ 083

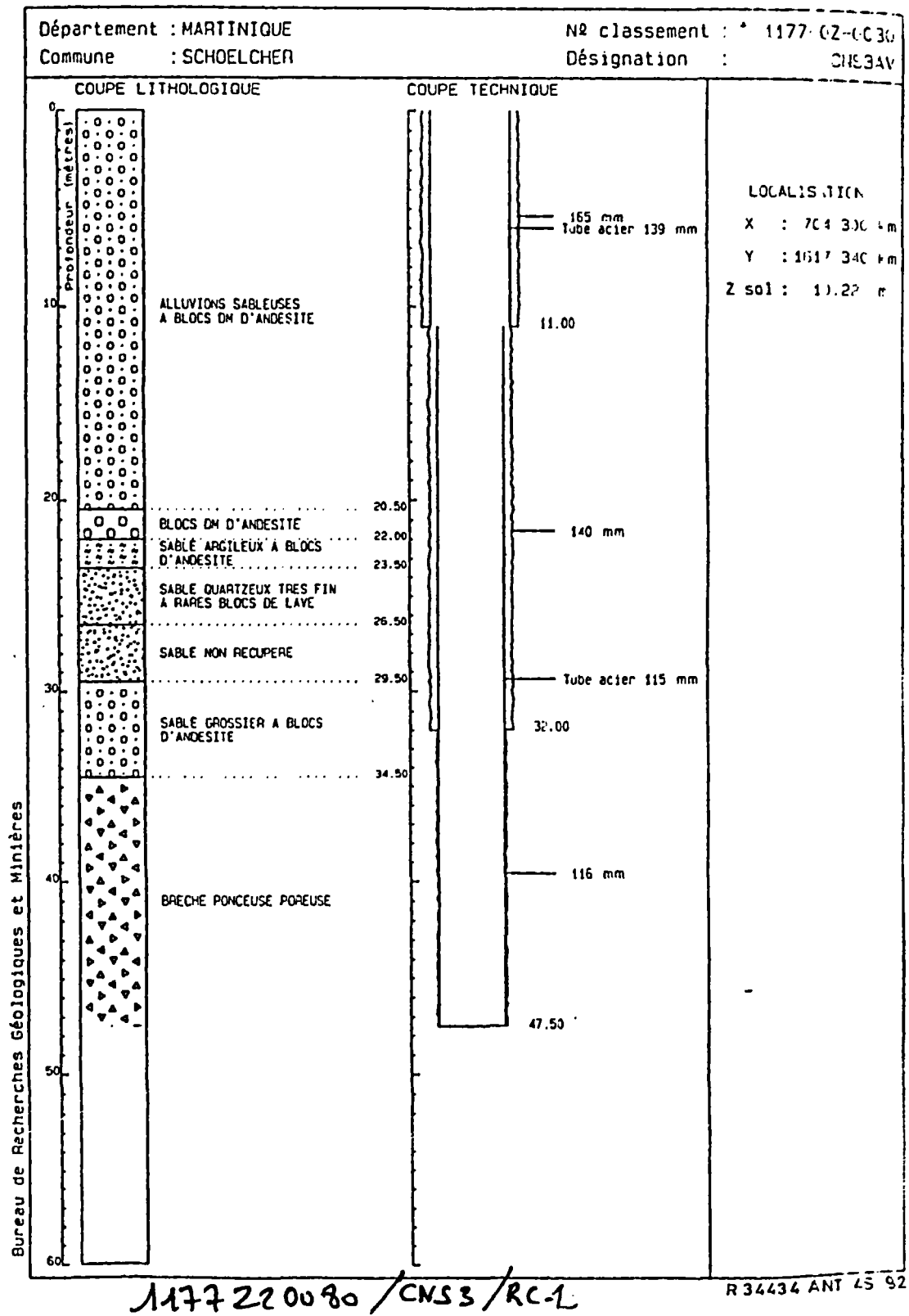
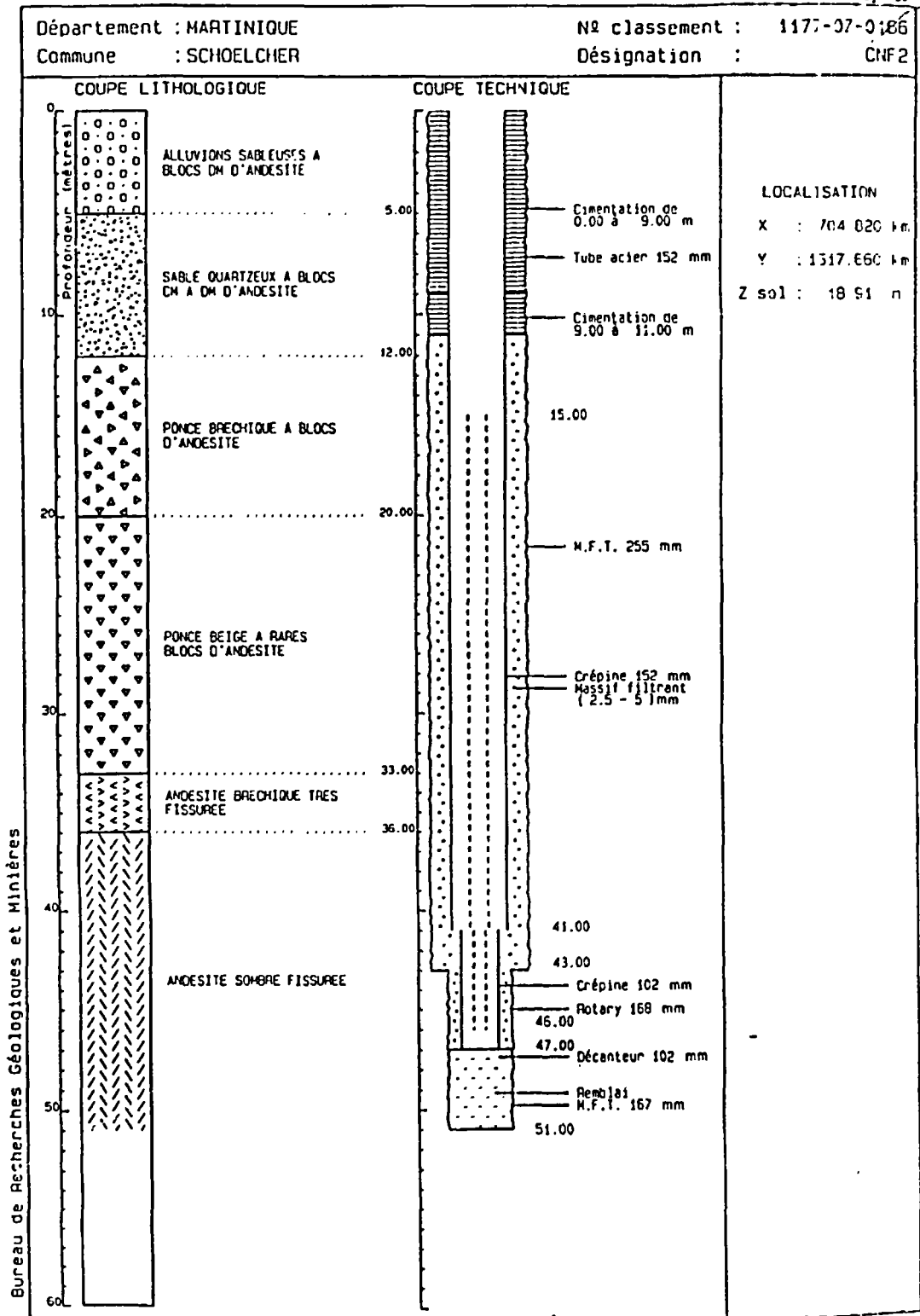


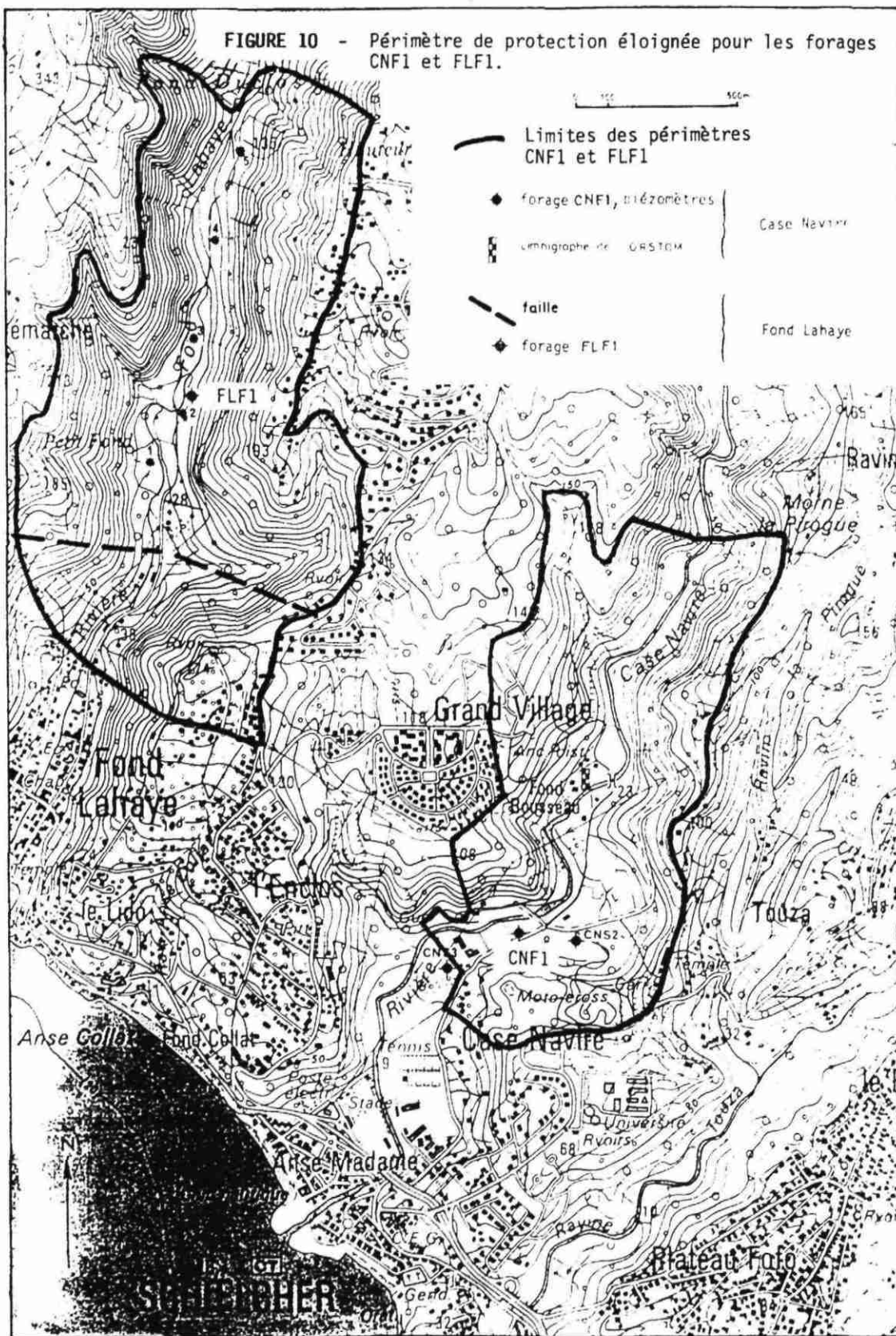
Figure 11 - Coupe lithologique et technique du sondage N° 1177 ZZ 166



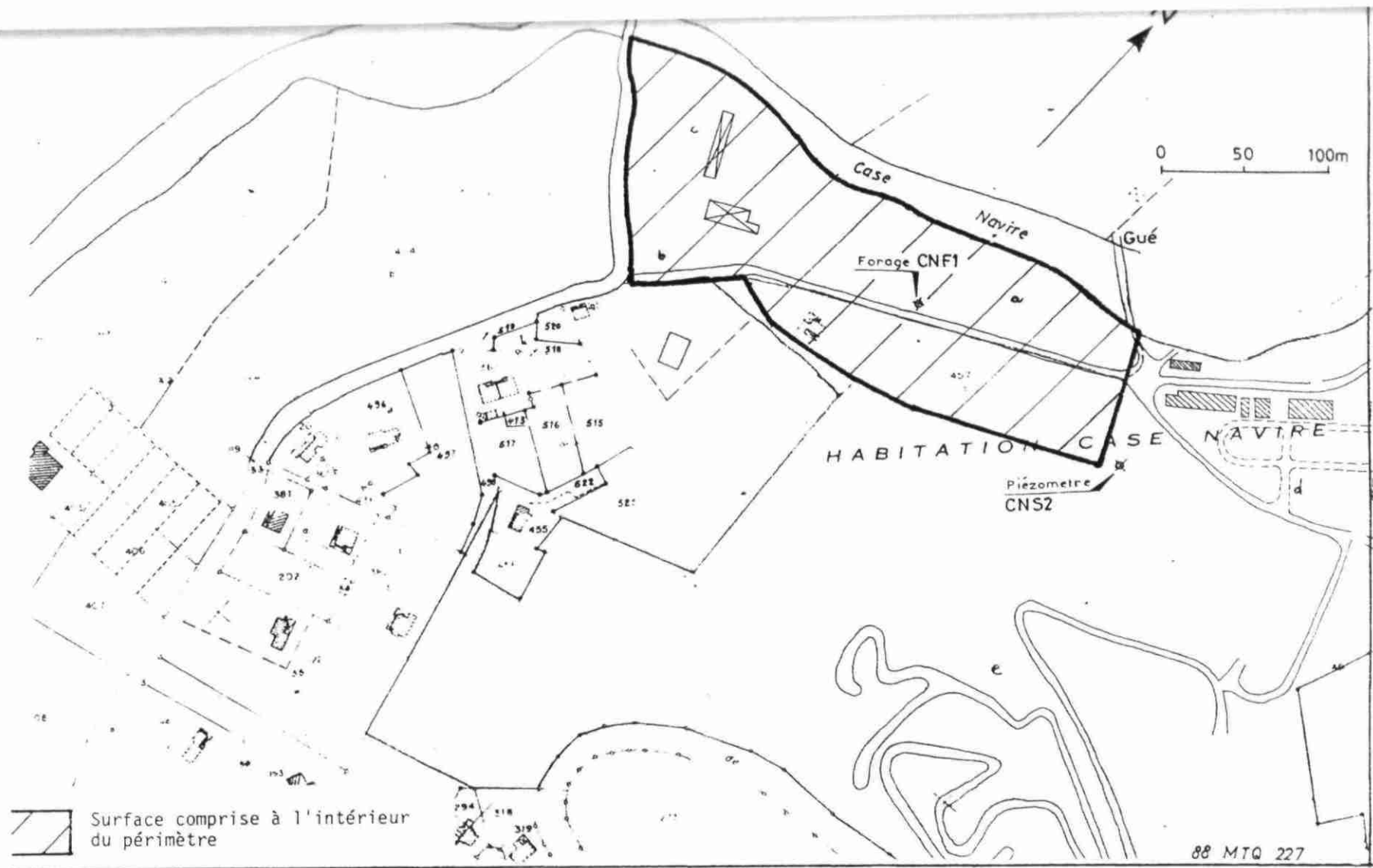
1177 22 0165/CNF2/RC 34434 ANT 45 92

Annexe 2

Périmètres de protection du forage 1177ZZ0078-CNF1



B R G M 88 MTQ 227



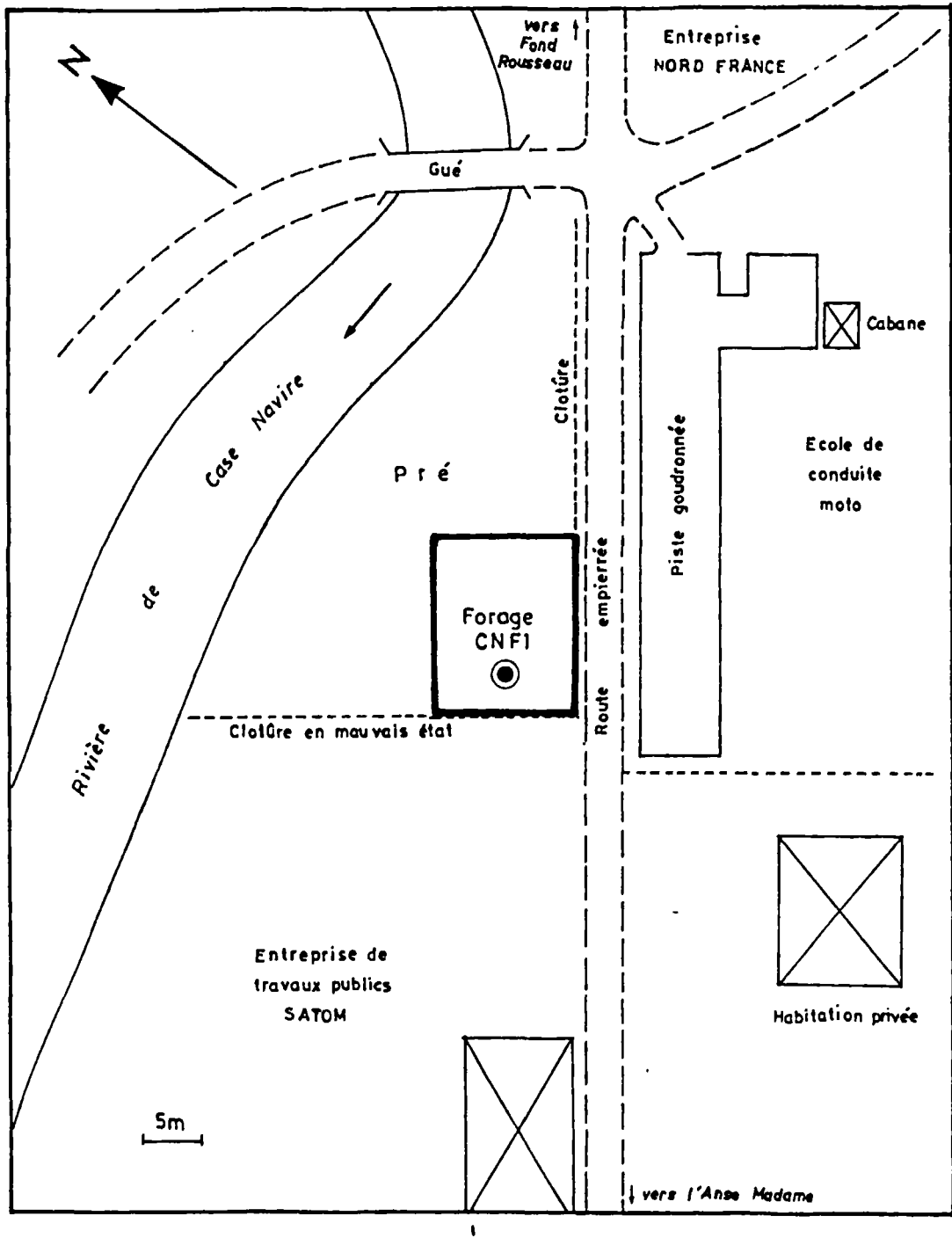
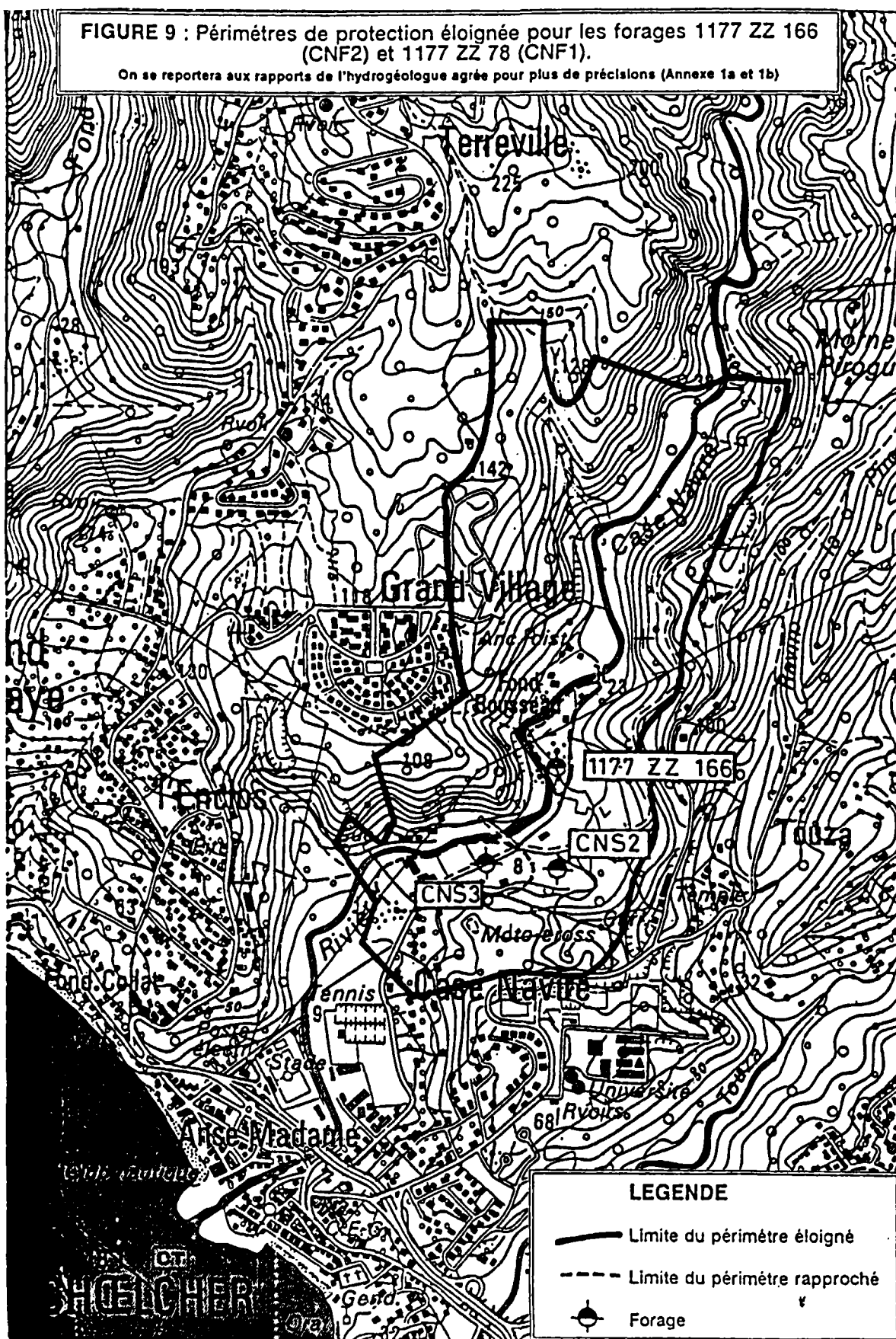


FIGURE 6 - Plan de situation du forage CNF1 et périmètre de protection immédiat

 Périmètre de protection immédiat

Annexe 3

Périmètres de protection du forage 1177ZZ0166-CNF2



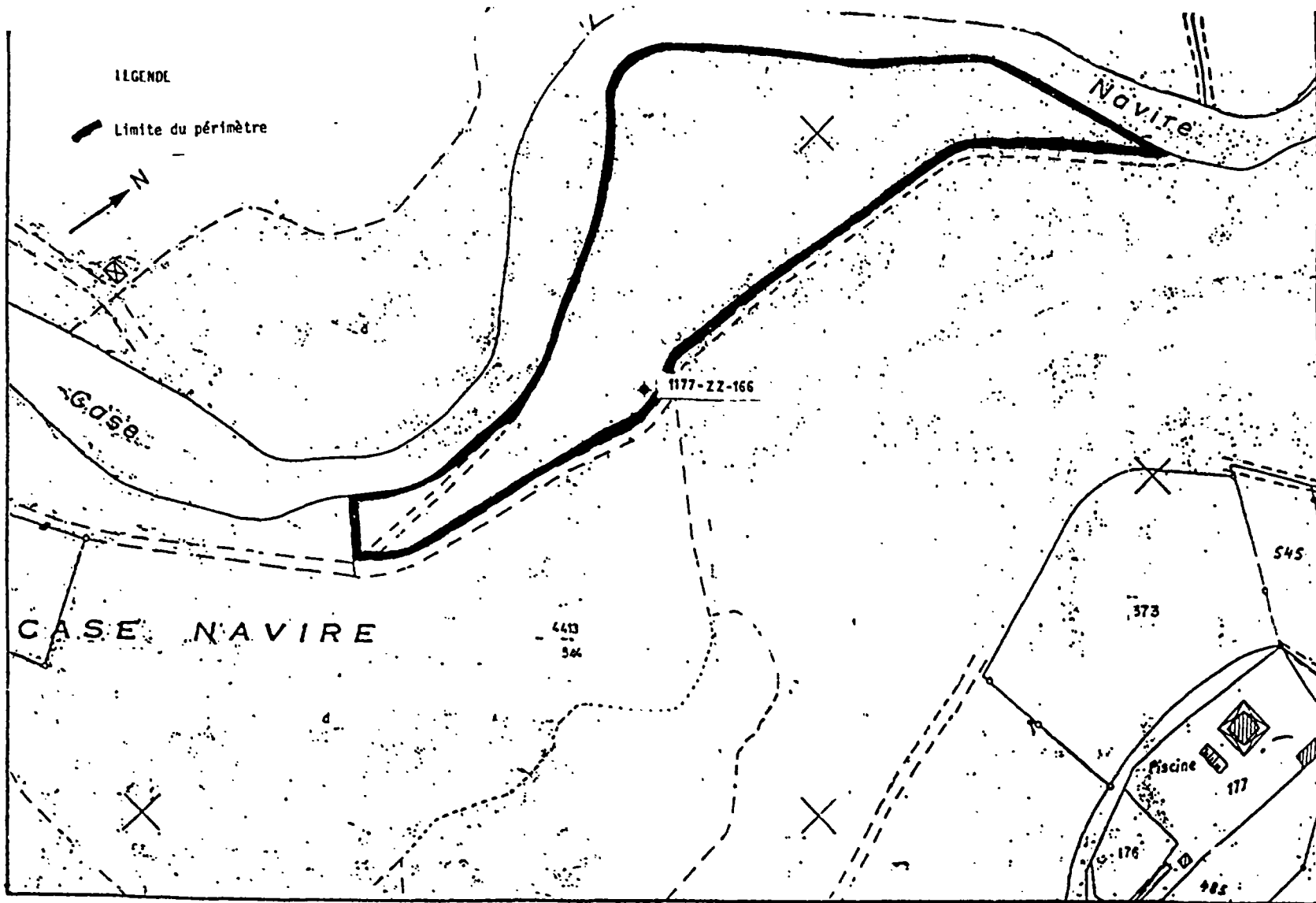


FIGURE 4 - Périmètre de protection rapprochée
Echelle 1/2,000

BRGM R 30318 ANT 45 89

Annexe 4

Photos réalisées sur le terrain



Photo 1 : Affleurement de brèches 8B



Photo 2 : La rivière Case Navire s'écoulant sur les andésites 2α



Photo 3 : Limite entre les andésites 2α et les alluvions



Photo 4 : Affleurement terrain alluvial

Annexe 5

Bordereaux des analyses effectuées dans le cadre de l'étude

Fax émis par : 05 96 48 86 27

CACEM BRI ENVIR

87-12-86 88:25

Pg:

Conseil Général de la Martinique
LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES
Eaux - Environnement - Hygiène Alimentaire - Biologie Vétérinaire
Boulevard Pasteur BP 628 - 97261 Fort-de-France Cédex - Tél : 05 96 71 34 52 - Fax : 05 96 70 81 23 - E-mail : lde@cg972.fr

Agréments ministériels : Santé Publique, Environnement n°11, RVO, Répression des Fraudes, Agriculture DGAL - Membre du RAEMA, d'AGLAE et du BIPEA

Numéro échantillon H_E_06.2083.1 Type d'analyse :
Produit Eau Brute avant traitement
Date de prélèvement 30/8/06 9:10
Préleveur DDASS_GJ
Date de réception 30/8/06 9:35
Origine du prélèvement Forage Case Navire août 06
Référence Forage Case Navire août 2006

Motif de prélèvement E
Code SISE-EAUX 0000000705
Type d'installation CAP

Commentaire Analyses complémentaires sous-traitées IPL et LDA26 échantillon

(Les résultats et les commentaires ne concernent que l'échantillon soumis à l'analyse)

Mesures de terrain

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Température de l'Eau	28,0 °C	-	
Aspect	0 Qualit.	-	
Couleur	0	-	
Odeur Qualitatif	0 qualit.	-	

Résultats physico-chimiques

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Conductivité à 25°C	881 µS/cm	-	NF EN 27888 janv. 94
Température de mesure de la conductivité	23,9 °C	-	(Compensation de la T°)
pH	8,80 unitépH	-	NF T 90-008 rev. 01
Température de mesure du pH	23,7 °C	-	
Calcium	52 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Magnésium	32 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Sodium	80 mg/l	200	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Potassium	4,1 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Ammonium (en NH4)	0,26 mg/l	4	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Chlorures	168 mg/l	200	(1) NF EN ISO 10304-1 06/95
Sulfates	11,0 mg/l	250	(1) NF EN ISO 10304-1 06/95
Nitrites (en NO2)	< 0,05 mg/l	-	(1) NF EN ISO 10304-1 06/95
Nitrates (en NO3)	0,12 mg/l	100	(1) NF EN ISO 10304-1 06/95
Orthophosphates (en PO4)	< 0,1 mg/l	-	(1) NF EN ISO 10304-1 06/95
Fluorures	48,0 µg/l	-	(1) NF EN ISO 10304-1 06/95
Carbonates	0,0 mg/l CO3	-	
Hydrogencarbonates	223,3 mg/l	-	
Arsenic	< 5 µg/l	100	NF T 90-119
Baryum	0,03 mg/l	-	NF T 90-119
Fer Total	< 10 µg/l	-	NF T 90-112
Manganèse total	632 µg/l	-	NF T 90-119
Zinc	< 0,01 mg/l	5	NF T 90-112

Conclusion : Echantillon conforme, pour les paramètres analysés

Fin du rapport pour le dossier H_E_06.2083

P. CHARLES-SARTE-CLARE
Directeur

D. ANDRE
Ingénieur - Chef de Service

Les incertitudes des analyses sont communiquées sur demande.

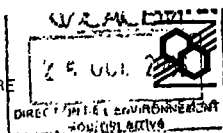
La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral. Il comporte 2 pages

Commune :

CAPTAGE EN RIVIERE

EAU

No : 1



Institut
Pasteur
de Lille

Eaux et environnement

Laboratoire accrédité par la section essai du COFRAC
sous les numéros 1-0930 (L) et 1-0931 (G).
Portée communiquée sur demande.

Bulletin d'analyse concernant
l'échantillon 656388

Bon cde : LDA/PCS/06-ADM 910

Vos Ref : HE.06.2083.1

Prélevé par le demandeur

le 30/08/2006 à

Reçu le 03/10/2006 (L) à 10H00

Début des essais le 03/10/2006

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES

18 OCT. 2006

COURRIER ARRIVÉ N°

LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES

35 BOULEVARD PASTEUR - BOULEVARD ARRIVÉ

FORT DE FRANCE

97200 FORT DE FRANCE CEDEX

Editeur n° 1 Page 1/1

COFRAC

le 20 OCT. 2006

24 247

L = mesure du laboratoire de Lille
G = mesure du laboratoire de Gravelines
D = mesure du laboratoire de Douai
* = mesure sous accréditation
Norme

Paramètre

Méthode

Résultat

Unité

HYDROCARBURES POLYAROMATIQUES

PARAMETRES PREALABLES

Purification

L Oui

HYDROCARB. POLYCYCLIQUES

Fluoranthene

NF T90-115

* L <0.005

ug/l

≤ 1

Benzo(b)fluoranthene

NF T90-115

* L <0.005

ug/l

≤ 1

Benzo(k)fluoranthene

NF T90-115

* L <0.005

ug/l

≤ 1

Benzo(a)pyrene

NF T90-115

* L <0.005

ug/l

≤ 1

Benzo(ghi)perylene

NF T90-115

* L <0.005

ug/l

≤ 1

Indeno (1,2,3-cd) pyrene

NF T90-115

* L <0.005

ug/l

≤ 1

Somme des HPA detectes

Calcul

* L <0.005

ug/l

≤ 1

ANALYSES COMPLEMENTAIRES

PHYSICO-CHIMIE

Carbone organique total

NF EN 1484

* L 0.7

mg/l

COT apres filtration 0.45um

NF EN 1484

* L 0.7

mg/l

Silice SiO2

Flux continu

* L 80

mg/l

METAUX

Aluminium

NF EN ISO 11885

* L <0.005

mg/l

Bore

NF T90-041

* L 110

ug/l

≤ 1000

Nickel

NF EN ISO 15586

* L <5

ug/l

PARAMETRES INDESIRABLES

Indice Hydrocarbures C10 a C40

NF EN ISO 9377-2

* L <100

ug/l

N. RENARD
31/10/06
L. J. T. AUFONT.

A Lille, le 12/10/2006

Le Chef de Laboratoire,

ommentaire / conformité :

au de riviere

AU POTABILISABLE (Code de Sante publique).

T Simonart C. Mouveau J.S. Pharamond E. Oudart P. Thomas A. Le Minor E. Picque E. Ready

accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole "L".
La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme d'un facsimilé photographique intégral. Ce document comporte 1 page et 0 annexe.

Fondation reconnue
d'utilité publique

1, rue du Professeur Calmette
BP 245 - 59019 Lille cedex
tel 03 20 87 77 30 à 33 - Fax 03 20 87 73 83

Laboratoire de référence agréé
pour l'analyse des eaux

Fax émis par : 85 96 48 06 27

CACEM BRI ENVIR

15-83-07 08:18

Pg: 2/3

Conseil Général de la Martinique
LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES
Eaux - Environnement - Hygiène Alimentaire - Biologie Vétérinaire
Boulevard Pasteur BP 626 - 97261 Fort-de-France Cédex - Tél : 05 96 71 34 52 - Fax : 05 96 70 61 23 - E-mail : labo@cg972.fr

Agréments ministériels : Santé Publique, Environnement n°11, RNO, Répression des Fraudes, Agriculture DGAL - Membre du RAEMA, SAGLAE et du BPEA

Numéro échantillon H_E_06.2883.1
Produit Eau Brute avant traitement
Date de prélèvement 6/12/06 1:00
Préleveur DDASS_GJ
Date de réception 6/12/06 11:30
Origine du prélèvement Forage Case Navire août 06
Référence Forage Case Navire Août 2006

Type d'analyse :

Motif de prélèvement E
Code SISE-EAUX 000000705
Type d'installation CAP

(Les résultats et les commentaires ne concernent que l'échantillon soumis à l'analyse)

Mesures de terrain

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Température de l'Eau	29,5 °C	-	
Aspect	0 Qualit.	-	
Couleur	0	-	
Odeur Qualitatif	0 qualit.	-	

Résultats physico-chimiques

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Conductivité à 25°C	838 µS/cm	-	NF EN 2788 janv. 04
Température de mesure de la conductivité	18,1 °C	-	(Compensation de la T°)
pH	6.70 unitépH	-	NF T 98-908 apr. 91
Température de mesure du pH	17,9 °C	-	
Calcium	41 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Magnésium	32 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Sodium	72 mg/l	200	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Potassium	3,9 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Ammonium (en NH4)	< 0.1 mg/l	4	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Chlorures	144 mg/l	200	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Sulfates	14,3 mg/l	250	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Nitrites (en NO2)	< 0.05 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Nitrates (en NO3)	< 0.1 mg/l	100	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Orthophosphates (en PO4)	< 0.1 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Fluorures	31,0 µg/l	-	(1) NF EN ISO 14591 oct 98
Carbonates	0,0 mg/l CO3	-	
Hydrogencarbonates	272,6 mg/l	-	
Arsenic	< 5 µg/l	100	NF T 90-119
Baryum	0,03 mg/l	-	NF T 90-119
Fer Total	481 µg/l	-	NF T 90-112
Manganèse total	711 µg/l	-	NF T 90-119
Zinc	0,01 mg/l	5	NF T 90-112

Conclusion : Echantillon conforme, pour les paramètres analysés

Fin de rapport pour le dossier H_E_06.2883

C. BECK
Vétérinaire - Chef de service AV

P. CHARLES-CLAUDE
Ingénieur - Chef de service EA

D. MERE
Ingénieur - Chef de service EA

Les incertitudes des analyses sont communiquées sur demande.

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral. Exemple 2 pages

Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique et analyse qualitative de la nappe d'eau souterraine
de Schoelcher-Case Navire

Fax émis par : 85 96 48 86 27

CACEM BRI ENVIR

15-85-87 11:36

Pg: 2/2

Conseil Général de la Martinique LABORATOIRE DEPARTEMENTAL D'ANALYSES Eaux - Environnement - Hygiène Alimentaire - Biologie Vétérinaire Boulevard Pasteur BP 628 - 97201 Fort-de-France Cédex - Tél : 05 96 71 34 52 - Fax : 05 96 70 61 25 - E-mail : lde@cg972.fr	
Agréments ministériels : Santé Publique, Environnement n°11, RNO, Répression des Fraudes, Agriculture DGAL - Membre du RAEMA, d'AGLAE et du BIPEA	

Numéro échantillon	H_E_07.943.1	Type d'analyse :	
Produit	Eau Brute avant traitement		
Date de prélèvement	25/4/07 10:00		
Préleveur	DDASS_GJ		
Date de réception	25/4/07 10:25		
Origine du prélèvement	Forage Case Navire août 06	Motif de prélèvement	E
Référence	Forage Case Navire Août 2006	Code SISE-EAUX	0000000705
		Type d'installation	CAP
Commentaire échantillon	Analyses sous traitées à l'Institut Pasteur de Lille : Carbone organique total et dissous, carbone inorganique dissous, hydrocarbures, HPAT, silicates (en SiO ₂), nickel, alu, bore.		

(Les résultats et les commentaires ne concernent que l'échantillon soumis à l'analyse)

Mesures de terrain

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Température de l'Eau	28,0 °C	-	
Aspect	0 Qualit.	-	
Couleur	0	-	
Odeur Qualitatif	0 qualit.	-	

Résultats bactériologiques (date de début d'analyse : 26/04/2007 09:00:00)

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Escherichia coli	<1 ufc/100ml	20000	NF EN ISO 9308-1 sept 00
Entérocoques intestinaux	<1 ufc/100ml	10000	NF EN ISO 7890-2 août 00
Pseudomonas aeruginosa	<1 ufc/100ml	-	NF EN 12780 août 02

Résultats physico-chimiques (date de début d'analyse : 26/04/2007 14:10:00)

Paramètre mesuré	Résultats	Critères Réglementaires	Références
Conductivité à 25°C	903 µS/cm	-	NF EN 27888 janv. 94
Température de mesure de la conductivité	22,0 °C	-	(Compensation de la T°)
pH	8.75 unité pH	-	NF T 90-008 fév. 01
Température de mesure du pH	22,0 °C	-	
Calcium	58 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Magnésium	32 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Sodium	77 mg/l	200	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Potassium	4.1 mg/l	-	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Ammonium (en NH ₄)	0.13 mg/l	4	(1) NF EN ISO 14911 oct 99
Chlorures	174 mg/l	200	(1) NF EN ISO 10304-1 08/95
Sulfates	10.5 mg/l	250	(1) NF EN ISO 10304-1 08/95
Nitrites (en NO ₂)	≤ 0.05 mg/l	-	(1) NF EN ISO 10304-1 08/95
Nitrates (en NO ₃)	≤ 0.3 mg/l	100	(1) NF EN ISO 10304-1 08/95
Orthophosphates (en PO ₄)	0.13 mg/l	-	(1) NF EN ISO 10304-1 08/95
Fluorures	31.0 µg/l	-	(1) NF EN ISO 10304-1 08/95
Carbonates	0.0 mg/l CO ₃	-	
Hydrogencarbonates	232.3 mg/l	-	
Arsenic	<5 µg/l	100	NF T 90-119
Baryum	0.03 mg/l	-	NF T 90-119
Fer Total	5082 µg/l	-	NF T 90-112
Manganèse total	659 µg/l	-	NF T 90-119
Zinc	0.06 mg/l	5	NF T 90-112

Conclusion : Echantillon conforme, pour les paramètres analysés

C. BECK
Vétérinaire - Chef de Service AV

P. CHARLES-SAUNTE-CLAIRE
Ingénieur - Directrice

D. ANDRE
Ingénieur - Chef de Service EA

Les incertitudes des analyses sont communiquées sur demande.

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous la forme de facsimilé photographique intégral. Il comporte 3 pages.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Martinique
4 lot. Miramar
Route pointe des nègres
97200 – Fort de France - France
Tél. : 05 96 71 17 70