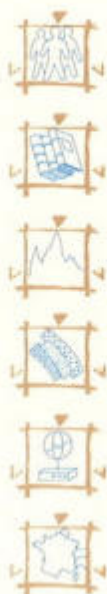


**S.I.A.E.P. DE NORT-SUR-ERDRE**

**EVALUATION DES ZONES A RISQUE KARSTIQUE  
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE - PROSPECTION  
GEOPHYSIQUE - MESURES HYDROGEOLOGIQUES  
SAFFRE (LOIRE-ATLANTIQUE)**

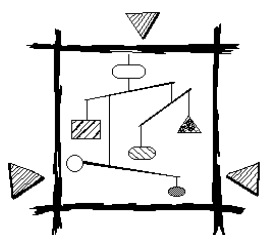
**RAPPORT CALLIGEE N11-44084-B  
SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE**



N° révisé	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Approbation	Visa	Date
1	Eric GIRARDIN Paul Henri MONDAIN		Paul Henri MONDAIN Viviane BORNE				Mars 2013

CALLIGÉE - Société Sociale  
Site Atlanpole Ecole Centrale  
1, rue de la Noë - BP 82118  
44321 NANTES Cedex 3  
Tél. 02 40 14 33 71 - Fax 02 40 14 33 72  
E-mail : nantes@calligee.fr

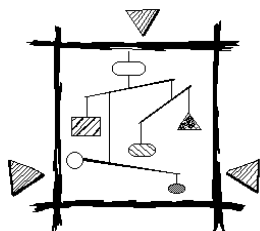
CALLIGÉE SUD-OUEST  
Innopole  
Le Prologue 2 - BP 2714  
31312 LABEGE Cedex  
Tél. 05 62 24 36 97 - Fax 05 61 39 07 28  
E-mail : toulouse@calligee.fr



## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>2</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>4</b>
<b>1 - INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>2 - ETAT INITIAL DES CONNAISSANCES</b> .....	<b>9</b>
2.1 - LOCALISATION ET CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	9
2.2 - ETUDES GEOLOGIQUES ANTERIEURES	11
2.3 - HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION AEP	13
2.4 - ETUDES HYDROGEOLOGIQUES ANTERIEURES	14
2.4.1 - Piézométrie	14
2.4.2 - Essais de pompage	18
2.4.3 - Essais de traçages	19
2.4.4 - Jaugeages	22
2.4.5 - Suivi thermiques	23
2.5 - BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCE SU KARST	25
2.5.1 - La notion de karstification	25
2.5.2 - les indices de mophologie karstique connus	27
<b>3 - RESULTATS DE L'ETUDE GEOLOGIQUE</b> .....	<b>30</b>
<b>4 - INVESTAGATIONS HYDROGEOLOGIQUES</b> .....	<b>34</b>
4.1 - INVENTAIRE DES POINTS D'EAU	34
4.2 - PIEZOMETRIE A L'EHELLE DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE ETUDIEE	34
4.2.1 - Déroulement des campagnes piézométriques	34
4.2.2 - Résultats de la campagne de hautes eaux	37
4.2.3 - Résultats de la campagne de basses eaux	40
4.3 - ESSAI DE POMPAGE	40
4.3.1 - Déroulement de l'essai	40
4.3.2 - Extension de l'aire d'influence du pompage	41
4.3.3 - Paramètres hydrodynamiques	43
4.3.4 - Simulation de pompages et interprétation	45
4.4 - CAMPAGNES DE JAUGEAGES	48
4.4.1 - Moyens mis en oeuvre	48

4.4.2 -	Résultats et interprétation .....	48
4.4.3 -	Conclusion .....	51
<b>4.5 -</b>	<b>NIVELLEMENT DU FOND DU LIT DES COURS D'EAU .....</b>	<b>53</b>
<b>4.6 -</b>	<b>SUIVI DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES.....</b>	<b>55</b>
4.6.1 -	Introduction.....	55
4.6.2 -	Suivi en continu des niveaux d'eau .....	55
4.6.3 -	Campagnes de mesure hebdomadaire des niveaux d'eau.....	68
4.6.4 -	Synthèse des observations .....	74
<b>4.7 -</b>	<b>ASPECT QUALITATIF .....</b>	<b>76</b>
4.7.1 -	Suivi de la conductivité .....	76
4.7.2 -	Apparition de Sélénium en étiage .....	79
<b>5 -</b>	<b>SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE.....</b>	<b>81</b>
<b>5.1 -</b>	<b>L'AQUIFERE DES CALCAIRES OLIGOCENES .....</b>	<b>81</b>
5.1.1 -	Extension de l'aquifère.....	81
5.1.2 -	Fonctionnement hydrogéologique.....	82
5.1.3 -	Influence des pompages AEP.....	83
5.1.4 -	Réserves de l'aquifère .....	83
<b>5.2 -</b>	<b>DEGRE DE KARSTIFICATION DE L'AQUIFERE .....</b>	<b>85</b>
<b>5.3 -</b>	<b>LES EFFONDREMENTS.....</b>	<b>85</b>
5.3.1 -	Localisation.....	85
5.3.2 -	Mecanisme de formation.....	87
5.3.3 -	Mesures préventives.....	88
<b>5.4 -</b>	<b>CARTE DES RISQUES D'EFFONDREMENT.....</b>	<b>89</b>
5.4.1 -	Critères retenus .....	89
5.4.2 -	Carte des risques d'effondrement .....	91
5.4.3 -	Autres risques présents à Saffré .....	92



## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b>	Contexte hydrographique et topographique de la commune de Saffré.....	9
<b>Figure 2 :</b>	Délimitation de la zone d'étude autour du bourg de Saffré.....	10
<b>Figure 3 :</b>	Coupe géologique interprétative à travers le bassin de Saffré .....	11
<b>Figure 4 :</b>	Description de la série sédimentaire du bassin de Saffré.....	12
<b>Figure 5 :</b>	Carte d'implantation des installations de captage à Saffré.....	15
<b>Figure 6 :</b>	Esquisse piézométrique du bassin de Saffré en période de hautes eaux .....	16
<b>Figure 7 :</b>	Variations piézométriques de la nappe calcaire du bassin de Saffré.....	17
<b>Figure 8 :</b>	Courbe de descente de l'essai de pompage sur F1 en avril 1977 .....	18
<b>Figure 9 :</b>	Courbe de restitution en F1 suite au traçage du Pas-Sicard en avril 1992 ....	20
<b>Figure 10 :</b>	Courbe de restitution sur l'eau brute pompée suite au traçage de l'Isac en juin 1999	22
<b>Figure 11 :</b>	Localisation des piézomètres où la température de l'eau a été mesurée en 1999	24
<b>Figure 12 :</b>	Schéma des conditions indispensables au développement de la karstification	26
<b>Figure 13 :</b>	Modèle conceptuel d'aquifère karstique (d'après A. Mangin, 1975) .....	26
<b>Figure 14 :</b>	Coupe géologique interprétative NW-SE à travers le bassin de Saffré .....	31
<b>Figure 15 :</b>	Coupe géologique interprétative SW-NE à travers le bassin de Saffré .....	31
<b>Figure 16 :</b>	Carte de la synthèse géologique du bassin de Saffré .....	32
<b>Figure 17 :</b>	Carte de localisation des points d'eau souterraine mesurés sur le bassin de Saffré	35
<b>Figure 18 :</b>	Carte piézométrique de la nappe des calcaires oligocènes en hautes eaux (20/04/11)	38
<b>Figure 19 :</b>	Carte piézométrique de la nappe des calcaires oligocènes en basses eaux (28/09/11)	39
<b>Figure 20 :</b>	Evolution des niveaux piézométriques en différents points au cours du pompage	42
<b>Figure 21 :</b>	Evolution de niveau piézométrique sur le captage F1 au cours du pompage	43
<b>Figure 22 :</b>	Courbe de descente observée sur le piézomètres Pz2 au cours de l'essai de pompage d'octobre 2011 sur les captages de Saffré .....	44



<b>Figure 23 :</b>	Evolution des niveaux piézométriques sur les piézomètres PZAEP, Pz2 et Pz6 au cours de l'essai de pompage d'octobre 2011 sur les captages de Saffré.....	44
<b>Figure 24 :</b>	Evolution du cône théorique de rabattement induit par les captages de Saffré dans deux configurations de pompage : essai de pompage d'octobre 2011 et pompages journaliers	46
<b>Figure 25 :</b>	Evolution du cône théorique de rabattement induit par les captages de Saffré dans deux configurations de pompage : essai de pompage d'octobre 2011 et pompages journaliers	47
<b>Figure 26 :</b>	Principales zones de perte et d'émergence mises en évidence par les campagnes de jaugeages effectuées sur les cours d'eau recoupant le bassin de Saffré .....	52
<b>Figure 27 :</b>	Exemple de zone d'émergence temporaire dans le lit de l'Isac.....	53
<b>Figure 28 :</b>	Profils en long des cours d'eau traversant de bassin de Saffré et localisation des zones de pertes et d'émergence mise en évidence par les jaugeages.....	54
<b>Figure 29 :</b>	Localisation des points de suivi .....	56
<b>Figure 30 :</b>	Evolution des niveaux piézométriques en Pz2 et Pz6.....	58
<b>Figure 31 :</b>	Evolution des niveaux d'eau entre Pz2 et l'Isac (Pz2bis) .....	59
<b>Figure 32 :</b>	Evolution des niveaux d'eau entre Pz6 et le Pas-Sicard (Pz6bis).....	60
<b>Figure 33 :</b>	Comparaison des niveaux du Pas-Sicard et de la nappe à Augrain.....	62
<b>Figure 34 :</b>	Comparaison des niveaux de l'Isac et de la nappe à la Chutenaie .....	62
<b>Figure 35 :</b>	Points de suivi au moment du pompage d'essai d'octobre 2011 .....	63
<b>Figure 36 :</b>	Comparaison des niveaux Pz23 avec d'autres piézomètres influencés par les pompages AEP.....	64
<b>Figure 37 :</b>	Evolution des niveaux d'eau en Pz7, Pz15, Pz27, Pz28, Pz29, Pz30 et P17	65
<b>Figure 38 :</b>	Evolution des niveaux d'eau en Pz9, Pz10, Pz16, Pz28, Pz29 et Pz30 .....	66
<b>Figure 39 :</b>	Evolution des niveaux d'eau en Pz9, Pz10, Pz16, Pz28, Pz29 et Pz30 .....	67
<b>Figure 40 :</b>	Evolution des niveaux d'eau en Pz9, Pz2, Pz28, Pz29 et Pz30 .....	68
<b>Figure 41 :</b>	Evolution comparative des niveaux d'eau de la nappe des calcaires aux environs de la Chutenaie .....	69
<b>Figure 42 :</b>	Evolution comparative des niveaux d'eau entre la nappe des calcaires et les ouvrages de chez Mr Jaunasse .....	70
<b>Figure 43 :</b>	Evolution comparative des niveaux d'eau dans le secteur d'Augrain .....	71
<b>Figure 44 :</b>	Evolution comparative des niveaux d'eau en partie amont du Pas Sicard.....	72
<b>Figure 45 :</b>	Evolution comparative des niveaux d'eau dans le centre bourg de Saffré ....	74
<b>Figure 46 :</b>	Evolution de la conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de l'eau brute des captages AEP de Saffré entre septembre 2011 et juin 2012 (Données SAUR).....	77
<b>Figure 47 :</b>	Courbe de distribution de fréquence de la conductivité de l'eau brute pompée sur les captages AEP de Saffré .....	78
<b>Figure 48 :</b>	Evolution des teneurs en Sélénium sur les captages AEP de Saffré (Données SIAEP) .....	79
<b>Figure 49 :</b>	Evolution du niveau piézométrique sur Pz2 au cours de l'été 2012 .....	84
<b>Figure 50 :</b>	Localisation des effondrements recensés comme tels à Saffré.....	86
<b>Figure 51 :</b>	Carte de zonage du risque karstique d'effondrement sur le bassin de Saffré	91

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 :</b>	Amplitude annuelle des températures observées entre février et août 1999.	23
<b>Tableau 2 :</b>	Caractéristiques des mesures piézométriques effectuées sur le bassin de Saffré	36
<b>Tableau 3 :</b>	Récapitulatif des volumes d'eau pompés et refoulés (m3) – données SAUR	40
<b>Tableau 4 :</b>	Rabattements mesurés sur les points d'eau au cours de l'essai de pompage	41
<b>Tableau 5 :</b>	Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère oligocène calculés à partir de l'essai de pompage longue durée sur F1 et F2 du 11 au 14 octobre 2011	45
<b>Tableau 6 :</b>	Synthèse des résultats des différentes campagnes de jaugeages effectuées sur les cours d'eau recoupant le bassin de Saffré	49
<b>Tableau 7 :</b>	Récapitulatif des périodes de suivi en continu des points d'eau entre octobre 2011 et septembre 2012	57
<b>Tableau 8 :</b>	Résumé des résultats du suivi piézométrique	75
<b>Tableau 9 :</b>	Grille d'évaluation du risque d'effondrement karstique à Saffré	90

## ANNEXES

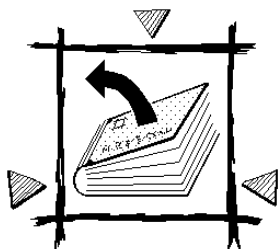
**Annexe 1 :** Liste bibliographique des documents consultés concernant le bassin d'effondrement de Saffré

**Annexe 2 :** Principales données géologiques et piézométriques concernant les captages AEP de Saffré

**Annexe 3 :** Exemples de gouffres, d'effondrements et de pertes observés sur le bassin d'effondrement de Saffré

**Annexe 4 :** Résultats des jaugeages au micro-moulinet réalisés sur les cours d'eau traversant le bassin de Saffré

**Annexe 5 :** Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires oligocènes de Saffré observées sur le piézomètre de référence Pz5 (04513X0085/PZ5)



## 1 - INTRODUCTION

À la demande et pour le compte du Syndicat Intercommunal d’Alimentation en Eau Potable de Nort-sur-Erdre (44), la société CALLIGEE (Nantes, 44) est intervenue à partir d’avril 2011, pour délimiter des zones à risques sur la commune de Saffré (44). En effet, des désordres (affaissements, effondrements), attribués à des soutirages karstiques en lien avec l’exploitation de la ressource en eau pour les captages d’eau potable du Syndicat, sont apparus sur une partie du territoire communal.

Suite au signalement de nombreux effondrements, les présidents du SDAEP de Loire-Atlantique et du SIAEP de Nort-sur-Erdre ont voulu mieux comprendre quels sont les paramètres contribuant à leur formation, et apporter ainsi des réponses aux habitants de Saffré. En effet, certains habitants de la commune, représentés par l’association « Saffré Zone Rouge », pensent que ces effondrements, dont le nombre semble avoir augmenté ces 20 dernières années, seraient en lien avec l’exploitation pour les besoins de l’alimentation en eau potable de l’aquifère des calcaires oligocènes du Bassin de Saffré.

Le SIAEP et les élus de Saffré souhaitent donc savoir, d’une part si les pompages pour l’eau potable sont réellement la cause de tous les effondrements, et d’autre part s’il est possible de délimiter et de hiérarchiser des zones à risques. La réalisation de cette étude se décompose en plusieurs étapes :

- dans un premier temps une étude bibliographique a visé à faire le point des connaissances géologiques et hydrogéologiques déjà acquises sur le bassin de Saffré ;
- la synthèse bibliographique n’ayant pas abouti à une connaissance suffisante de l’organisation du remplissage sédimentaire du bassin (méconnaissance de l’orientation des failles notamment), une campagne de prospection géophysique a été réalisée et a donné lieu à une première interprétation de la géologie structurale. Cette interprétation a ensuite été complétée par la réalisation spécifique de quatre piézomètres dans le centre du bourg, et par l’interprétation des sondages réalisés plus récemment dans le cadre d’études géotechniques relatives à des bâtiments existants ou à des projets de construction ;
- conjointement une étude hydrogéologique a été entreprise afin de mieux comprendre les modalités d’écoulement des eaux souterraines pour, d’une part, cerner l’extension de l’influence des pompages AEP et d’autre part, distinguer les différents aquifères en présence dans le bassin de Saffré.

**Le présent rapport** concerne le volet « étude hydrogéologique du bassin de Saffré ». Il expose les données obtenues sur le terrain et les interprétations qui ont été tirées de ces résultats, à la lumière des données géologiques et géophysiques déjà acquises, faisant l’objet d’un rapport spécifique (Calligée N11-44084-A).

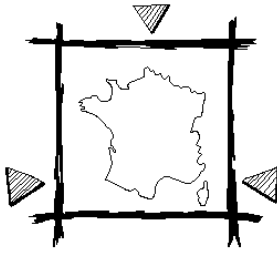
Ce volet hydrogéologique a pour objectif de :

- cerner l'extension de l'aquifère exploité par les captages AEP ;
- distinguer la nappe exploitée par les captages, d'éventuelles nappes contenues dans d'autres formations géologiques et isolées de la nappe exploitée par des formations imperméables ;
- chercher à caractériser le comportement karstique de l'aquifère exploité ;
- apprécier l'influence des pompages AEP sur les fluctuations de niveau de la nappe exploitée ;
- comprendre le mécanisme aboutissant à la formation des effondrements observés ;
- aboutir à l'élaboration d'une carte de zonage des risques d'effondrements karstiques en lien avec l'exploitation des forages AEP.

Les moyens mis en œuvre pour mener à bien cette étude hydrogéologique ont plus particulièrement porté sur les points suivants :

- un nivellement des forages, piézomètres, puits domestiques et échelles limnimétriques mises en place sur les principaux cours d'eau, ainsi que celui du fond des rivières (Isac, Pas-Sicard, Ruisseau de Puceul et Apsiguais) ;
- deux campagnes générales de piézométrie, l'une en hautes eaux et l'autre en basses eaux ;
- un essai de pompage de 72 h en période d'étiage (octobre 2011) ;
- des jaugeages répétés effectués sur les différents cours d'eau ;
- un suivi hebdomadaire ou bimensuel du niveau d'eau dans les cours d'eau et sur les eaux souterraines en une trentaine de points pour préciser les amplitudes des fluctuations saisonnières ;
- un suivi en continu de l'évolution de la piézométrie en différents points du bassin de Saffré sur une période variant, suivant les points d'observation, entre une semaine et plusieurs mois ;
- un enregistrement en continu de la conductivité sur le mélange des eaux d'exhaure des forages AEP en entrée de l'usine de traitement des eaux.

Les résultats de cette étude débouchent *in fine* sur l'élaboration d'une carte de zonage des risques d'effondrements karstiques.



## 2 - ETAT INITIAL DES CONNAISSANCES

La liste de l'ensemble des documents consultés pour établir cet état des lieux est donnée dans l'[annexe 1](#). Il s'agit pour la majorité de documents communiqués par le SIAEP de Nort-sur-Erdre ou la mairie de Saffré.

### 2.1 - LOCALISATION ET CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Situé à 25 km au Nord de l'agglomération Nantaise, la commune de Saffré s'étend sur près de 5 746 ha. Le bourg est implanté en bordure de la route départementale RD 121 qui relie Nort-sur-Erdre à Nozay. Elle fait partie de la Communauté de Communes de la Région de Nozay ([Fig. 1](#)).

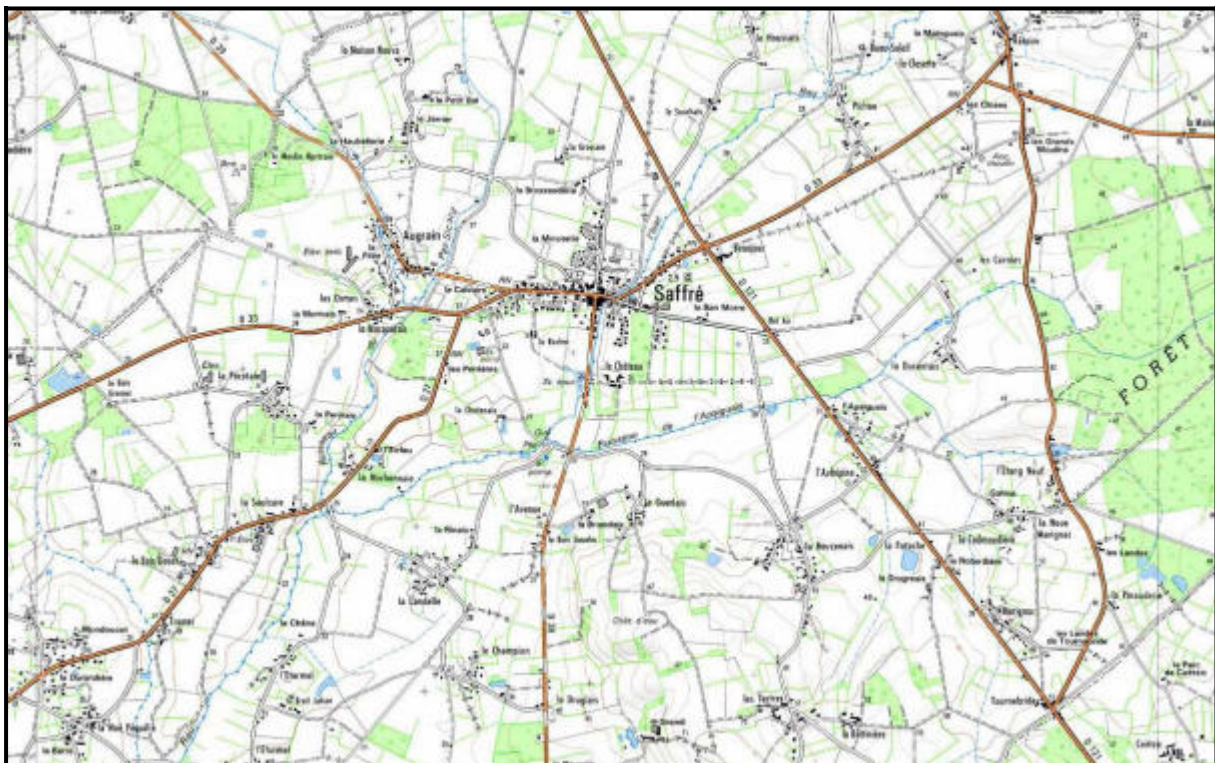


Figure 1 : Contexte hydrographique et topographique de la commune de Saffré

(d'après extrait carte IGN à 1 / 25 000)

La commune de Saffré est recoupée par un réseau hydrographique composé de quatre cours d'eau dont l'écoulement est globalement dirigé du Nord / Nord-Est vers le Sud / Sud-Ouest (Fig. 1) :

- l'**Isac**, le cours d'eau principal qui traverse le bourg de Saffré du Nord au Sud ;
- le **Pas-Sicard** et le **Ruisseau de Puceul** au Nord-Ouest qui se rejoignent au Sud du village d'Augrain. Le Pas-Sicard se jette ensuite dans l'Isac à 2 km au Sud-Ouest du bourg, entre la Morhonnaie et la Saulzaie ;
- l'**Apsiguis** au Sud du bourg, qui rejoint l'Isac au niveau de l'ancienne station de pompage, 1 km au Sud du bourg.

L'étude géologique et hydrogéologique a porté plus spécifiquement sur toute la zone urbanisée du bourg et ses environs (Fig. 2). Sur l'ensemble de cette zone, la topographie est peu élevée et relativement plane. Les altitudes sont le plus souvent comprises entre 25 et 30 m NGF.

L'exploitation des terres agricoles dans la zone d'étude est essentiellement tournée vers l'élevage de bovins ou d'ovins. Aucune activité de cultures intensives n'est recensée sur la zone et l'on a de ce fait une irrigation agricole négligeable en période estivale.

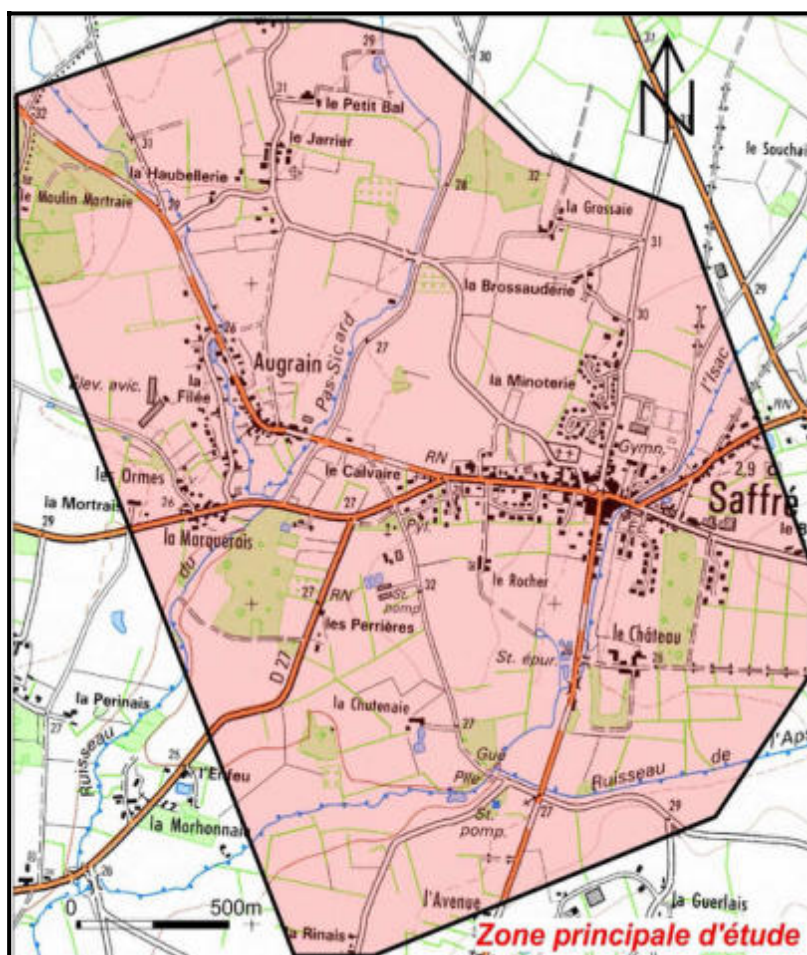


Figure 2 : Délimitation de la zone d'étude autour du bourg de Saffré



## 2.2 - ETUDES GEOLOGIQUES ANTERIEURES

Dès 1881, VASSEUR lève une première carte géologique du bassin de Saffré et fournit une première interprétation de sa structure et de son environnement de dépôt. Il signale que dès 1813, les calcaires oligocènes étaient exploités en carrière.

En 1951, une campagne de 7 sondages ayant pour objectif la recherche en eau, permet d'obtenir des coupes géologiques. Le plus profond atteint 112 m de profondeur et 4 d'entre eux recoupent une série calcaire reposant sur des argiles vertes. Dans sa thèse en 1960, S. DURAND reprend les travaux de VASSEUR et exploite les données acquises lors de la campagne de sondage de 1951.

Entre 1964 et 1966, la société Lafarge a entrepris une campagne de prospection pour la recherche de calcaires. 24 sondages ont ainsi été effectués, fournissant des données complémentaires sur la géologie du bassin.

J.-P. MARGEREL reprend, dans les années 70, les logs obtenus lors des campagnes de sondages de Lafarge et propose une première structure d'ensemble du bassin. Plusieurs coupes géologiques concernant le bassin de Saffré sont établies afin de comprendre l'agencement des différents horizons sédimentaires. J.-P. MARGEREL met ainsi en évidence un réseau de failles orientées NW-SE recoupant la partie centrale du bassin et délimitant des compartiments plus ou moins effondrés.

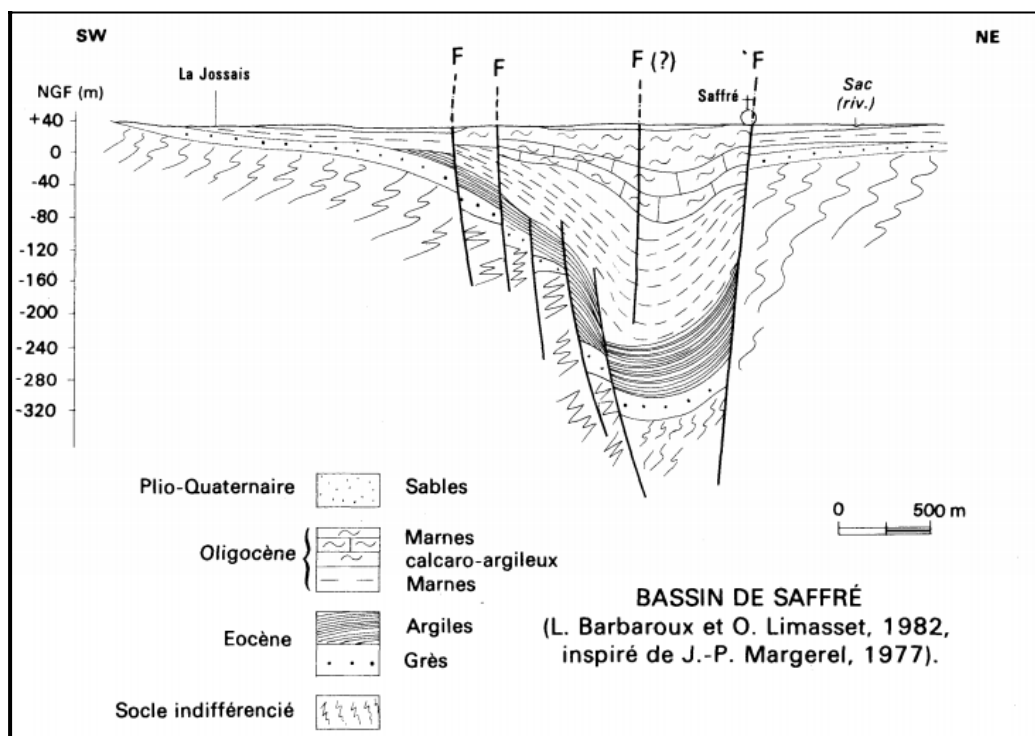


Figure 3 : Coupe géologique interprétative à travers le bassin de Saffré

C'est cette interprétation géologique qui est décrite dans la notice de la carte géologique à 1 /50 000 n° 451 de Nort-sur-Erdre (Fig. 3). Cependant la position exacte des failles affectant le bassin est méconnue et très peu d'accidents sont en réalité reportés sur cette carte : un seul est indiquée au droit du bourg de Saffré. Le manque de connaissance de la structure du bassin a conduit à réaliser une campagne de prospection géophysique dans le cadre de la présente étude (cf. Rapport Calligée N11-44084-A).

Ce n'est qu'en 1977 que la coupe stratigraphique complète des sédiments tertiaires piégés dans le bassin de Saffré a pu être connue, grâce à la réalisation du forage dit « Montavon » qui a recoupé le socle schisteux armoricain à 331 m de profondeur. La description détaillée de l'ensemble de cette série sédimentaire a fait l'objet en 1978 du travail de D.E.A de V. BORNE. C'est cette coupe qui sert aujourd'hui de référence stratigraphique pour le bassin de Saffré (Fig. 4).

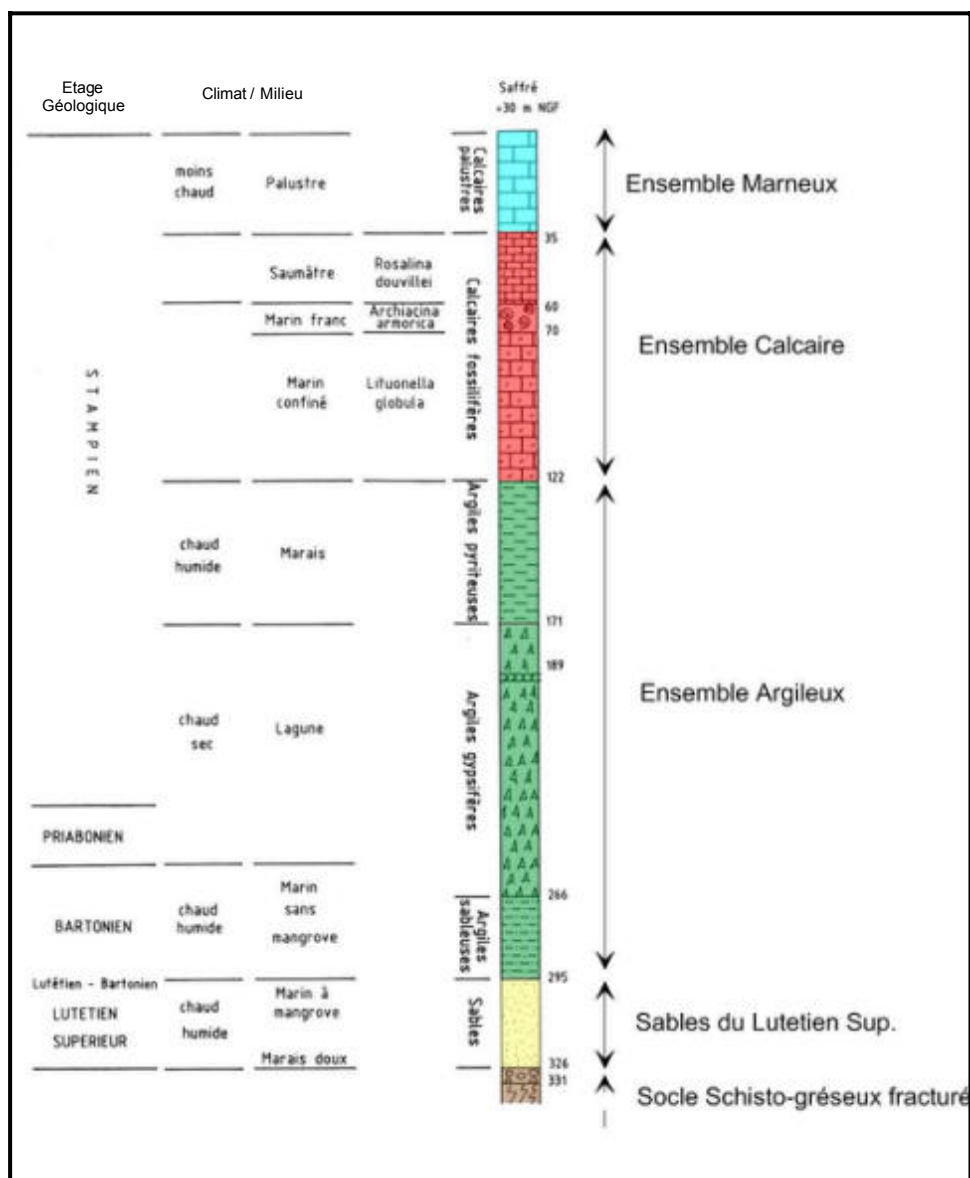


Figure 4 : Description de la série sédimentaire du bassin de Saffré (d'après le log du forage Montavon, V. BORNE, 1978)



Suite à la réalisation et la mise en exploitation des deux forages AEP actuels, deux campagnes de réalisation de piézomètres ont été menées en juin 1991 (14 sondages) puis en février 1992 (7 sondages) et suivis respectivement par GEOSCOPI et LITHOLIGIC. Il s'agit de sondages peu profonds (7 à 21 m) qui se trouvent pour la plupart du temps asséchés en période de basses eaux.

On retiendra donc que la commune de Saffré est localisée sur un bassin sédimentaire d'âge tertiaire de forme grossièrement elliptique qui s'étend sur 7 km de long du Nord-Ouest au Sud-Est et sur environ 4 km de large.

D'une manière générale, les séries schisto-gréseuses composant le socle du Massif armoricain ont été affectées, au début de l'ère tertiaire lors de l'orogénèse pyrénéenne (*Paléogène*), par une phase d'extension qui s'est traduite par une fracturation intense entraînant la formation de bassins d'effondrements. La dépression ainsi générée est ensuite progressivement comblée par l'apport de sédiments d'origine marine puis lagunaire et enfin lacustre. Plusieurs autres bassins de ce type se sont formés à la même époque en Loire-Atlantique : Campbon-Drefféac, Nort-sur-Erdre, Mazerolles notamment.

Quatre grands ensembles sédimentaires peuvent être distingués sur le bassin de Saffré (Fig. 4) :

- un ensemble sablo-gréseux à la base de la série (Eocène) reposant sur des graviers issus de l'érosion du socle, de 30 à 35 m d'épaisseur ;
- un ensemble de marnes et d'argiles verdâtres très épais (173 m) déposé à la fin de l'Eocène (Barthonien supérieur) et au début de l'Oligocène (Stampien inférieur) ;
- un ensemble carbonaté marin puis palustre essentiellement calcaire, de près de 90 m d'épaisseur (Stampien supérieur) ;
- un ensemble supérieur marno-calcaire d'environ 35 m de puissance déposé en milieu plutôt lacustre (Stampien supérieur).

Des sables déposés plus récemment, au Plioquaternaire viennent également par endroits surmonter ces formations et masquer l'extension des formations oligocènes sous-jacentes.

## 2.3 - HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION AEP

Les premières recherches remontent à la campagne de recherche de 1951. D'après le rapport du 6 mai 1949 de PHILIPPOT, géologue à l'Institut de Géologie de l'Université de Rennes, ces recherches avaient comme objectif premier de reconnaître les propriétés aquifères des sables éocènes connus à l'affleurement dans le secteur du Bois-Gouët depuis les travaux de VASSEUR.

A la suite de cette campagne, deux sondages sont mis en exploitation au Sud de l'Isac, à la hauteur de la Chutenaie. Il s'agit des anciens sondages S4 et S7 qui recoupent les calcaires marins jusqu'à une profondeur de 60 à 80 m. Une première station de pompage est installée vers 1954 à proximité du sondage S7. Cet ouvrage est rapidement abandonné en raison de problèmes de colmatage. C'est le sondage S4 qui prendra par la suite le relai.

Cet ouvrage existe toujours, mais il a été abandonné en 1980 en raison de problèmes chroniques de qualité d'eau. Dans la présente étude, il s'agit du piézomètre Pz2 qui sera utilisé comme ouvrage de référence pour suivre l'évolution des niveaux d'eau de la nappe des calcaires oligocènes. Cet ouvrage était à l'origine exploité à un débit de 90 m<sup>3</sup>/h, puis à partir de l'été 1976 ce débit est passé à 150 m<sup>3</sup>/h.

Les reconnaissances ultérieures, notamment les campagnes de sondages Lafarge, dont les résultats ont été synthétisés par J.-P. MARGEREL (1976), ont incité par la suite à réaliser un nouveau forage dans le centre du bassin de façon à reconnaître l'ensemble de la série sédimentaire et à capter les calcaires sous un recouvrement marneux de plus de 30 m.

Il s'agit du sondage « Montavon » foré en 1977 jusqu'au socle qui a été rencontré à 331 m de profondeur. Les essais de pompage réalisés sur cet ouvrage de reconnaissance ayant donné satisfaction, le forage a été partiellement remblayé (jusqu'à 120 m) puis équipé pour le transformer en forage d'exploitation (cf. coupe en annexe 2). L'ancien captage a alors été remplacé en 1980 par ce nouvel ouvrage de production destiné à fournir un débit de pompage de 210 m<sup>3</sup>/h. C'est le captage F1 qui est toujours en exploitation aujourd'hui.

Un piézomètre de surveillance (désigné Pz AEP), d'une profondeur de 66,5 m, a aussi été réalisé à proximité de F1 en vue de la réalisation d'essais de pompage sur l'ouvrage définitif en 1978.

Par la suite, un second forage d'exploitation (F2) a été réalisé non loin du précédent (Fig. 5, annexe 2) en 1990 pour sécuriser l'alimentation en eau potable et accroître la production sur le site.

Ainsi l'aquifère des calcaires oligocènes est actuellement exploité à proximité du lieu-dit la Chutenaie au Sud-Ouest du bourg de Saffré, au moyen de deux forages de 120 m de profondeur capables de fournir chacun un débit instantané de 250 m<sup>3</sup>/h. Le débit maximal total de prélèvement autorisé est de 500 m<sup>3</sup>/h. La capacité nominale de la station de traitement associée est de 10 000 m<sup>3</sup>/j. L'arrêté préfectoral du 9 juin 2011 définit les périmètres de protection autour des captages et les mesures de protection associées.

Les installations de captage et de traitement sont la propriété du SIAEP de Nort-sur-Erdre qui en a confié l'exploitation à la SAUR.

## 2.4 - ETUDES HYDROGEOLOGIQUES ANTERIEURES

### 2.4.1 - PIEZOMETRIE

#### 2.4.1.1 - Variations spatiales

Il existe dans la bibliographie plusieurs cartes piézométriques qui ont été établies à l'échelle du bassin de Saffré dans des conditions hydrologiques différentes. Ces cartes reposent sur des mesures de niveau d'eau faites en une vingtaine de points, sur les différents forages et piézomètres existants. Deux campagnes de réalisation de piézomètres avaient d'ailleurs été réalisées à cet effet en 1991 et 1992.



Figure 5 : Carte d'implantation des installations de captage à Saffré



Ces cartes présentent toujours une allure similaire (Fig. 6), mettant en évidence :

- une direction globale des écoulements souterrains du Nord-Est vers le Sud-Ouest, assez conforme avec la direction générale des écoulements superficiels (Isac, Pas-Sicard notamment) ;
- une forte dépression en lien avec l'exploitation des captages ;
- une autre zone déprimée bien marquée le long du Pas-Sicard dans le secteur d'Augrain ;
- un dôme piézométrique marqué séparant ces deux zones déprimées.

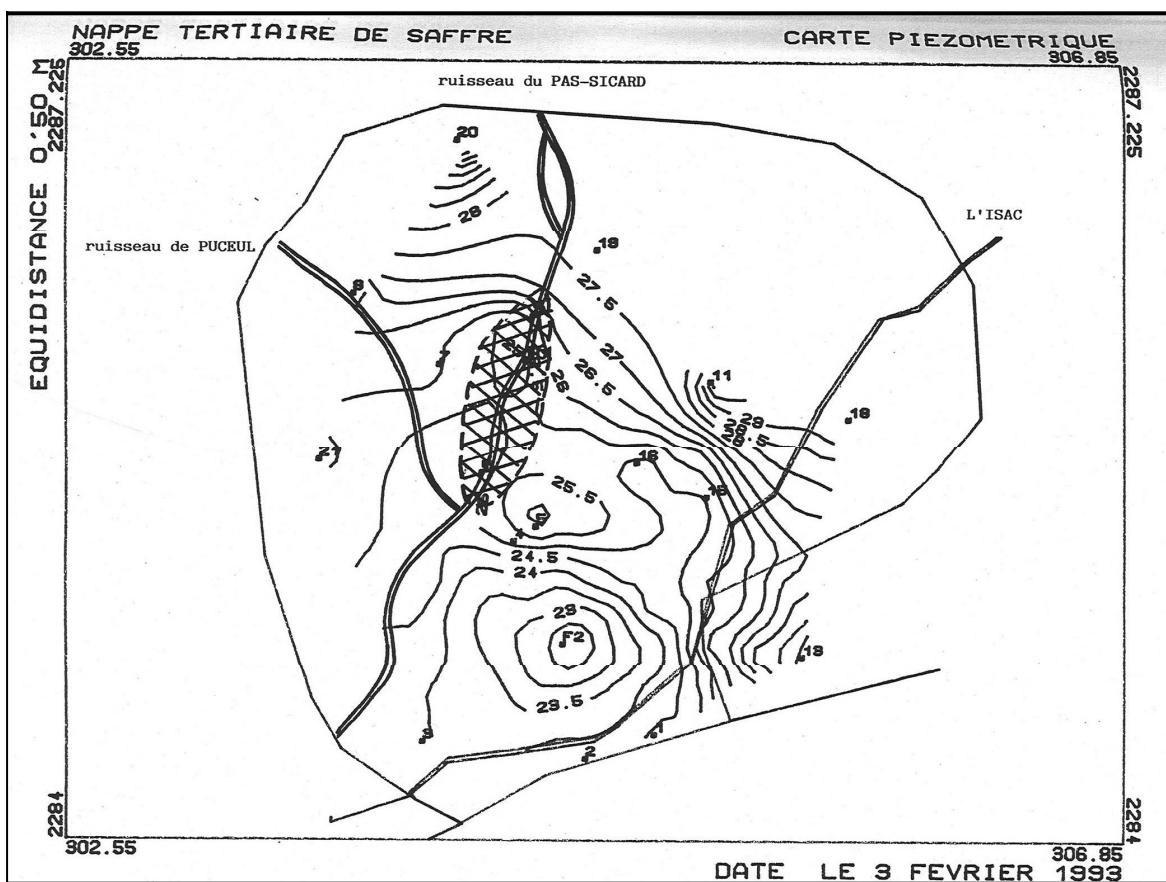


Figure 6 : Esquisse piézométrique du bassin de Saffré en période de hautes eaux  
(d'après document du Conseil Général, Y. Alix, mai 1993)

La dépression située à l'aplomb du pas-Sicard est expliquée par la présence de pertes des écoulements superficiels dans ce secteur. Cependant, l'existence d'un dôme piézométrique s'interposant entre les deux dépressions reste peu compréhensible.

Après examen des coupes géologiques des différents piézomètres mesurés, on se rend compte que tous ne captent pas l'aquifère des calcaires exploités pour les besoins de l'AEP. Certains sont établis dans des argiles vertes qui représentent le substratum de cet aquifère, d'autres captent les sables plio-quadernaires ou bien des horizons marno-calcaires.

Ces cartes piézométriques ne sont donc pas représentatives de la piézométrie stricte de l'aquifère calcaire et il convient de rester prudent quant à leur interprétation.

### 2.4.1.2 - Variations temporelles

Depuis 1991, le piézomètre Pz 5 (indice BSS : 04513X0085/PZ5) fait l'objet d'un suivi piézométrique régulier. Depuis fin 1994, une valeur moyenne journalière est enregistrée. Sur la chronique disponible (Fig. 7), on constate que les niveaux de hautes eaux plafonnent entre 27 et 37,5 m NGF et ceux de basses eaux oscillent selon les années entre 21 et 24 m NGF. Les amplitudes annuelles sont de l'ordre de 3 à 3,5 m, mais peuvent certaines années, comme en 2001 ou 2005, atteindre ou même dépasser 5 m. On remarque que les recharges de l'aquifère peuvent se faire assez rapidement. Les vidanges estivales paraissent assez régulières et peu influencées par les précipitations.

Une surexploitation de la ressource en eau disponible est perceptible en 2004 et 2005. Elle est en lien avec, d'une part une faible recharge hivernale au cours de ces deux années (particulièrement 2005), et d'autre part des prélèvements plus importants réalisés en 2004 par rapport aux autres années. Depuis la situation est redevenue normale. On retrouve en effet les cotes hivernales habituelles chaque année depuis 2007.

On dispose également de mesures de niveau sur les deux captages depuis 2004. Les niveaux moyens journaliers annuels les plus hauts s'établissent à des cotes plus basses que pour Pz 5 : respectivement entre 21 et 21,5 m NGF pour F2 et 16,5 à 17 m NGF pour F1. Ces niveaux ne sont pas de véritables niveaux statiques car les interruptions de pompage entre deux créneaux de pompage successifs ne sont pas assez longues pour permettre un retour à l'équilibre de la nappe.

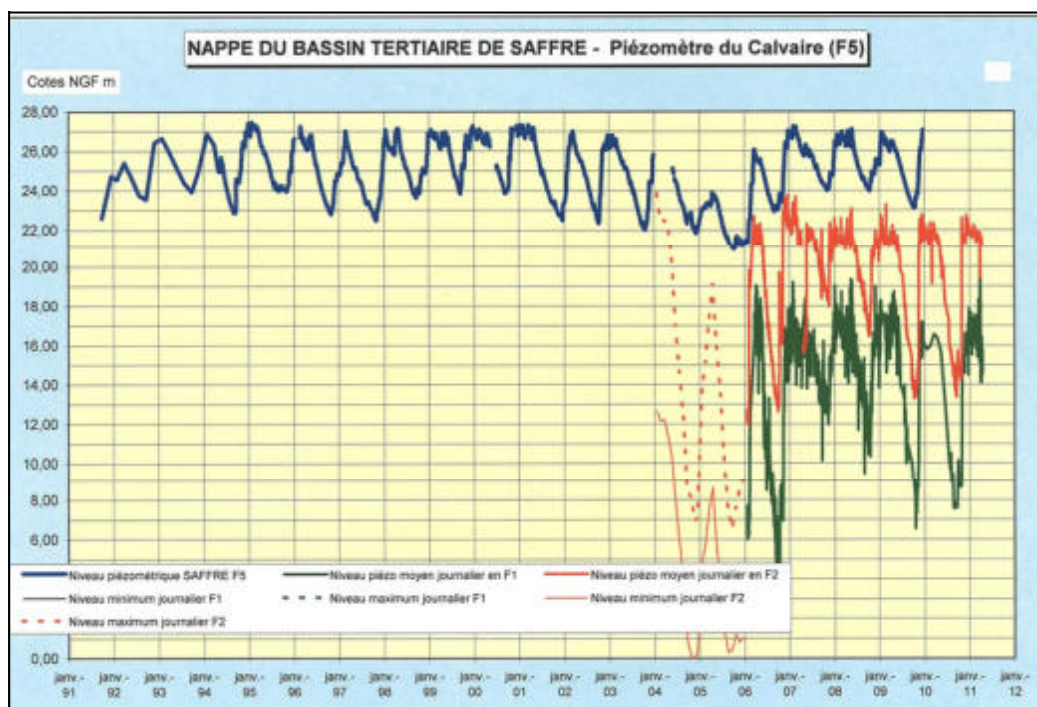


Figure 7 : Variations piézométriques de la nappe calcaire du bassin de Saffré

(d'après document du Conseil Général, 2011)

## 2.4.2 - ESSAIS DE POMPAGE

### 2.4.2.1 - Captage F1

L'essai de pompage réalisé du 26 au 28 avril 1977 sur une durée de 50 h à un débit moyen de 300 m<sup>3</sup>/h, montre une courbe de descente régulière, avec une tendance à la stabilisation des rabattements vers 17,3 m au bout de 35 h de pompage. Quelques perturbations de 10 à 20 cm affectent cependant les rabattements en fin de pompage. Celles sont peut-être dues à l'influence des prélèvements sur le forage AEP exploité plus au Sud.

On retiendra que la courbe de descente est caractéristique d'un comportement classique d'un aquifère poreux (Fig. 8). Son interprétation au moyen de la méthode de Jacob, fournit pour l'aquifère une valeur de transmissivité de  $1,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Saffré - Captage F1 : Courbe de descente - Pompage du 26 au 28 avril 1977

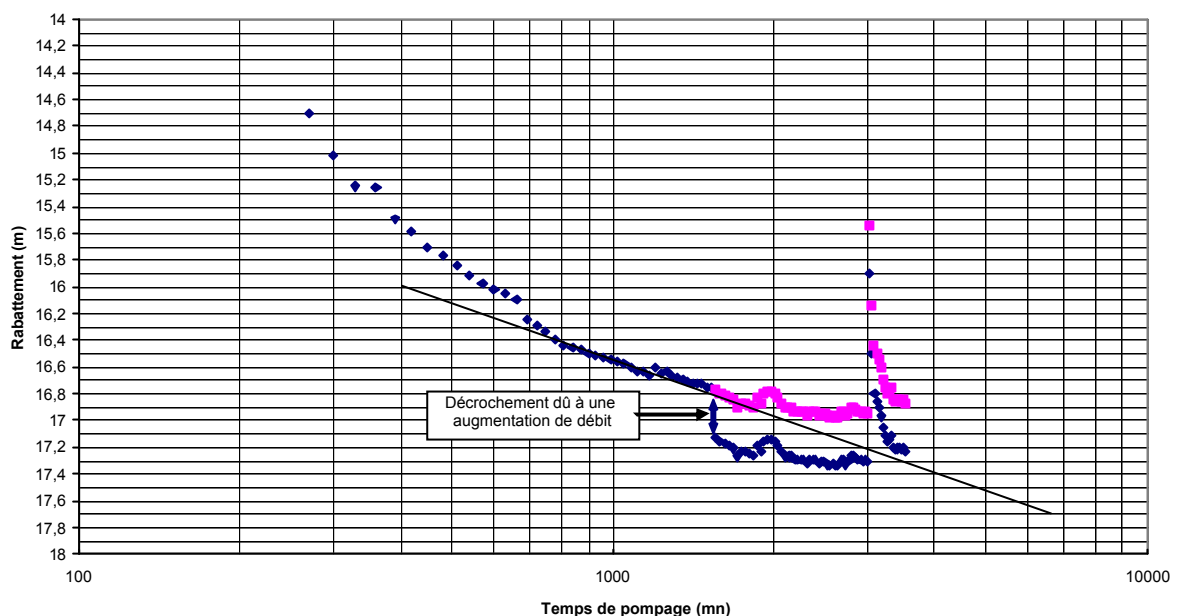


Figure 8 : Courbe de descente de l'essai de pompage sur F1 en avril 1977

Après équipement du forage Montavon en forage d'exploitation, un nouvel essai de pompage a été réalisé en février 1978. Il s'agit d'un pompage de 48 h à un débit constant de 200 m<sup>3</sup>/h, suivi d'une remontée sur seulement 3 h. En plus du puits de pompage, des observations étaient également réalisés sur un piézomètre distant de 23 m (Pz AEP), ainsi que sur le puits et la mare de la Chutenaie, et sur les gouffres situés au bord de l'Isac.

La réinterprétation des mesures effectuées sur le piézomètre au cours de l'essai fournit les résultats suivants :

$$T = 0,78 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ et } S = 3,98 \cdot 10^{-4}$$

Sur F1, la transmissivité calculée à la descente est de  $0,51 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Les transmissivités calculées (T) ainsi sont sensiblement plus faibles que lors de l'essai précédent, mais restent du même ordre de grandeur. La faible valeur du coefficient d'emmagasinement (S) confirme bien que l'aquifère est captif, du moins semi-captif. La durée de la remontée est insuffisante pour permettre de calculer une valeur de transmissivité.

Le pompage n'a pas d'effet significatif sur le puits et la mare de la Chutenaie (baisse de 8 cm). En revanche un rabattement de 37 cm est observé sur le gouffre observé à 330 m au Sud de F1. Sur le piézomètre, le rabattement atteint en fin de pompage 6,15 m.

#### **2.4.2.2 - Captage F2**

En juillet 1990, un pompage de 24 h en continu à 240 m<sup>3</sup>/h a été réalisé sur le forage F2. L'interprétation de la courbe de descente permet de calculer une transmissivité encore plus élevée que sur F1 :  $3,05 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . Au bout de 24 h de pompage, le rabattement n'était que de 2,73 m ; mais il n'était pas stabilisé.

Les essais par paliers montrent que le forage peut être exploité à un débit de 300 m<sup>3</sup>/h (Rapport SEERS n°064, 1990).

Aucun suivi n'ayant été réalisé sur d'autres ouvrages proches (F1, Pz AEP) lors de ces essais, aucun calcul de coefficient d'emmagasinement n'a pu être effectué.

### **2.4.3 - ESSAIS DE TRAÇAGES**

#### **2.4.3.1 - La Chutenaie**

En 1978, à l'occasion de la réalisation de l'essai de pompage sur F1, une injection de fluorescéine a été effectuée à la fois dans la mare de la ferme de la Chutenaie et dans le gouffre d'effondrement situé au Sud de cette mare et en rive droite de l'Isac. Cette opération avait pour but de mettre en évidence d'éventuelles circulations souterraines entre ces points et le forage F1 (Rapport SRAE, juin 1978). Le suivi d'une restitution éventuelle a été fait au moyen de fluocapteurs disposés en F1, sur le piézomètre voisin, sur le puits de la Chutenaie, ainsi que sur le forage AEP de l'époque, situé en rive gauche de l'Isac. Aucun suivi n'a été fait en aval de la Chutenaie sur l'Isac.

Aucun résultat probant n'a pu être tiré de cette expérience, bien que le gouffre ait été clairement influencé par le pompage. Tous les fluocapteurs dosés se sont en effet avérés négatifs.

Cette méthode de suivi est peu fiable et les dosages à l'aide d'un spectrophotomètre ne sont aussi performants, en termes de seuil de détection, que les dosages qui sont faits couramment aujourd'hui à l'aide d'un spectrofluorimètre.

Ce résultat négatif permet cependant d'affirmer que si une relation hydraulique existe entre le gouffre et F1, celle-ci n'est pas de nature très karstifiée. En effet les vitesses de transit entre ces deux points, dans des conditions d'écoulement radial convergeant générées par le pompage, seraient inférieures à 6,9 m/h. Cette vitesse correspond à l'arrivée du traceur en F1 au bout de 48 h de pompage continu à 200 m<sup>3</sup>/h, la distance entre ces deux points étant de 330 m. Or les vitesses couramment mises en évidence par des traçages

intéressant des drains karstiques, sont de plusieurs dizaines de mètres par heure et peuvent dépasser les 200 m/h en crue.

#### 2.4.3.2 - Traçage du Pas Sicard en avril 1992

Le 4 mars 1992, 1,25 kg de fluorescéine ont été déversés dans le ruisseau du Pas-Sicard au Nord d'Augrain, juste en aval du pont de la route reliant la Brossauderie au Jarrier (Rapport LITHOLOGIC, R/YG/92.019, Avril 1992). La restitution a été suivie jusqu'au 11 mars sur le captage F1 exploité à un débit de 245 m<sup>3</sup>/h durant 14 h par jour, soit à une distance moyenne de 1 250 m du lieu d'injection. Aucune précision n'est donnée sur les conditions d'écoulement dans le Pas Sicard au moment de l'injection, mais il est très probable qu'à cette période de l'année l'écoulement était continu dans le ruisseau.

Les échantillons manuels recueillis sur F1 (14 au total) ont été dosés par la suite en laboratoire. Une restitution a commencé en F1 plusieurs de jours après l'injection (53 h environ), avec un pic modal observé au bout de 119 h, soit environ 5 jours après l'injection. Les vitesses d'arrivée et modale qui en découlent sont donc respectivement de 23,6 et 10,4 m/h. Ce sont des vitesses modérées qui rendent compte d'un écoulement souterrain qui n'est pas très karstifié. La courbe de restitution montre d'ailleurs une augmentation assez progressive des teneurs en fluorescéine pour atteindre un maximum autour de 52 µg/l (Fig. 9). La décroissance des concentrations est à l'opposé très brutale, ce qui n'est pas habituel. Ce comportement peut s'expliquer par le fait que le traceur a concerné un écoulement superficiel dont une partie seulement a été absorbé par les pertes du Pas Sicard situées sur un linéaire de l'ordre de 350 m uniquement en aval du lieu d'injection. L'essentiel de la masse de traceur injectée a été évacué vers l'aval. Un suivi en aval sur le Pas-Sicard aurait permis d'apprécier cette quantité.

Un rapide calcul fait à partir de cette courbe de restitution indique que moins d'un tiers du traceur a été restitué en F1 au cours de la période de suivi.

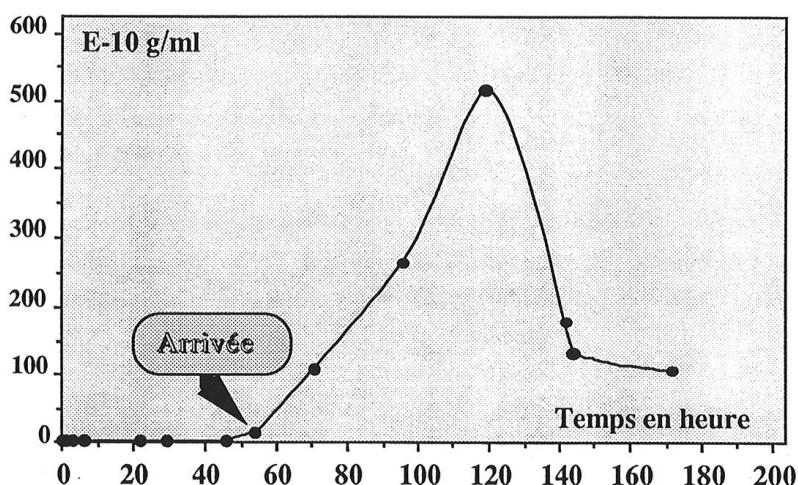


Figure 9 : Courbe de restitution en F1 suite au traçage du Pas-Sicard en avril 1992

(source : Rapport LITHOLOGIC, R/YG/92.019, Avril 1992)



#### 2.4.3.3 - Traçage du Pas Sicard en février 1993

Un traçage identique au précédent a été réalisé un an plus tard, après que des travaux de colmatage des pertes du ruisseau aient été réalisés (Rapport LITHOLOGIC, R/YG/93.021, Avril 1993). Le débit d'exploitation de F1 était alors plus faible : 170 m<sup>3</sup>/h durant 14 h par jour. Le suivi a porté sur 14 prélèvements d'étalant sur une durée de 8 jours

Cette fois-ci le traceur est apparu en F1 au bout de 70 h, soit une vitesse d'arrivée un peu plus faible que précédemment : 17,1 m/h. Les concentrations observées sont également plus faibles, avec un maximum à 6,6 µg/l survenant 124.5 h après l'injection, soit une vitesse modale de 10 m/h, quasi identique à celle du traçage précédent. La courbe de restitution présente aussi une allure similaire à celle du précédent traçage. L'estimation du taux de traceur restitué en F1 est inférieure à 3 % de la masse restituée.

Ainsi les travaux d'étanchéité effectués sur le ruisseau du Pas-Sicard pour colmater les zones de perte ne s'est pas avéré totalement efficace. Ont-ils permis cependant d'abaisser les quantités de traceurs entraînées vers les circulations souterraines ? Il est difficile de se prononcer à ce sujet dans la mesure où les conditions hydrologiques au niveau du Pas Sicard ne sont pas connues et où les conditions d'exploitation du captage F1 sont différentes.

#### 2.4.3.4 - Traçage de l'Isac en juin 1999

Les eaux de l'Isac ont été colorées par injection d'1 kg de Rhodamine B au lieu-dit Pichon, situé à 2 km en amont du centre bourg de Saffré, et à 3 km en amont des principales zones de pertes. Le débit de la rivière a été mesuré à 40 l/s et la vitesse moyenne l'écoulement superficiel à 167 m/h (Rapport CG44 99-DEACV-n°200, octobre 1999). Visuellement, la vitesse de propagation du front du nuage de colorant a été mesurée à 160 m/h. Sur la base de ces vitesses, le nuage de traceur a atteint le centre bourg au bout d'environ 12 h après l'injection du traceur, et de 18 h pour les zones de pertes les plus importantes.

Le suivi de la restitution au moyen de prélèvements ponctuels a duré 2 semaines. Il a été réalisé en deux points : l'un sur le piézomètre Pz15 situé à proximité du cimetière à plus de 200 m du cours de l'Isac, l'autre sur les eaux brutes pompées aux captages et prélevées à l'entrée de l'usine des eaux.

A la station, le traceur est apparu au bout de 163 h. En retranchant le temps mis par le traceur pour arriver jusqu'aux pertes, et en considérant que le trajet souterrain n'est que de 500 m (distance entre les pertes et les forages) on obtient une vitesse moyenne d'arrivée qui ne serait que de 3,5 m/h. La courbe de restitution obtenue présente une allure comparable à celles des précédents traçages, avec une augmentation progressive des concentrations (Fig. 10). La restitution apparaît pluri modale, ce qui pourrait s'expliquer par l'introduction du traceur en différents points du lit de l'Isac, le traceur empruntant ainsi des voies de circulations souterraines différentes.

Sur les 15 prélèvements journaliers du PZ15 réalisés, la présence de traceur à très faible concentration n'a été décelée que sur 2 échantillons consécutifs 67 et 91 h après l'injection. Ces valeurs restent très proches du bruit de fond de fluorescence naturelle de l'eau prélevée et n'excèdent pas 1 µg/l.

Compte tenu de la distance séparant le Pz 15 de l'Isac (200 m) et du temps de transfert du traceur dans l'Isac pour parvenir au point le plus proche du piézomètre (12 h), les vitesses de transit au sein de l'aquifère calcaire seraient tout au plus de 16,6 m/h. Il s'agit d'un ordre de grandeur cohérent avec les vitesses observées lors d'autres traçages. Mais ce qui surprend c'est la faible restitution, tant en concentration qu'en durée, avec l'absence d'un pic bien structuré. Par ailleurs ces résultats paraissent difficilement explicables dans le contexte géologique du bassin de Saffré tel qu'il a pu être établi à l'issue de la campagne géophysique (Rapport Calligée N11-44084-A). En amont du centre bourg de Saffré, l'Isac s'écoule sur un compartiment dont le sous-sol est constitué d'une grande épaisseur d'argiles et les calcaires oligocènes y sont absents. Il ne peut donc pas y avoir de pertes de l'Isac sur ce tronçon.

Tous ces éléments conduisent à rester prudent quant à la signification réelle de la restitution sur le Pz 15. Pour en avoir la certitude, il conviendrait de rééditer cette opération, en exerçant un suivi avec des pas de temps de prélèvements plus courts s'étendant sur une plus longue période, de manière à pouvoir décrire fidèlement l'allure d'une éventuelle courbe de restitution en ce point.

Il n'en demeure pas moins que ce traçage apporte la démonstration que l'Isac participe, par l'intermédiaire de pertes, à l'alimentation de l'aquifère calcaire exploité pour l'AEP.

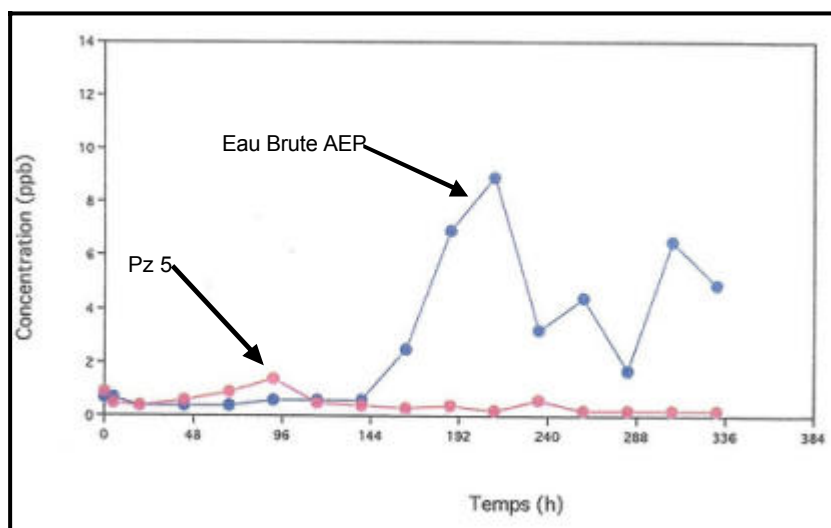


Figure 10 : Courbe de restitution sur l'eau brute pompée suite au traçage de l'Isac en juin 1999  
(source : Rapport CG44 99-DEACV-n°200, octobre 1999)

#### 2.4.4 - JAUGEAGES

Plusieurs campagnes de jaugeages sériés effectuée par SCE entre avril 1992 et janvier 1993 sur les ruisseaux du Pas-Sicard et de Puceul. Elles mettent distinctement en évidence des tronçons d'infiltration préférentielle d'une partie ou de la totalité du débit de la rivière. Ces pertes sont bien identifiables en période de récession des écoulements. En périodes de hautes eaux, elles sont moins évidentes à mettre en évidence, compte tenu de l'importance du débit et de l'incertitude avec laquelle il est connu.

Pour le Pas-Sicard ces tronçons portent non seulement sur le secteur d'Augrain, mais aussi sur un tronçon plus en amont (aval du Petit Bal) où l'on rencontre plutôt en surface des sables pliocènes. Sur le ruisseau de Puceul, les pertes semblent localisées préférentiellement en amont de l'étang d'Augrain et plus particulièrement en amont de la Haubellerie. En revanche, aucune zone d'émergence n'est mise en évidence par ces jaugeages.

Les traçages réalisés sur le pas Sicard (cf. § 2.4.3) sont venus confirmer la relation entre la zone de pertes du secteur d'Augrain et les captages AEP.

#### 2.4.5 - SUIVI THERMIQUES

En 1999, huit campagnes de mesures de la température de l'eau échelonnées entre février et décembre ont concerné 15 piézomètres parmi les 21 qui avaient été mis en place en 1991 et 1992. Volontairement dans cette étude il a été considéré que seules les températures mesurées au toit de la nappe étaient susceptibles d'être représentatives « des relations rapides entre les eaux de surface et celles de profondeur en raison de phénomènes karstiques dont on ignore la structure » (Rapport CG44 99-DEACV-n°210, décembre 1999). Parallèlement la température de l'air et celle des cours d'eau de surface étaient également mesurées.

Cette étude s'est attachée à mesurer l'amplitude des variations thermiques constatée au cours de la période d'étude sur les différents points de mesure (Tab. 1).

**Tableau 1 : Amplitude annuelle des températures observées entre février et août 1999**

(source : Rapport CG44 99-DEACV-n°210, décembre 1999)

Élément mesuré	Point de mesure	Amplitude annuelle
Air	Station Météo-France de Nort-sur-Erdre	16 °C
Eaux de surface	Pas-Sicard	7 °C
	Apsiguais	8 °C
	Isac	12 °C
Eaux souterraines mesurées au toit de la nappe	Famille A constituée des piézomètres n°1, 11, 12, 19	supérieur à 5°C
	Famille A constituée des piézomètres n°2, 6, 10, 13, 15	entre 3 et 5°C
	Famille A constituée des piézomètres n°4, 5, 8, 9, 16, 17	Inférieur à 3°C

De ces résultats, l'auteur en est déduit que les piézomètres les plus proches des cours d'eau sont ceux que présentent les plus fortes amplitudes de variation de température de l'eau, et inversement que les plus éloignés sont ceux qui ont les plus faibles amplitudes (Fig. 11). Il en est conclu que les plus importantes variations de température viennent confirmer le caractère karstique des calcaires.

A notre avis, cette conclusion paraît hâtive dans la mesure où ces mesures concernent, d'une part des piézomètres qui ne recoupent pas nécessairement les calcaires (points 8, 9, 11, 12 et 13 notamment), et d'autre part concernent seulement la partie supérieure de la nappe. En effet cette zone est influencée directement par les échanges thermiques entre l'air et l'eau.

Par ailleurs, les mesures thermiques sont très délicates à interpréter, notamment en milieu karstique et surtout lorsque l'on ne s'adresse pas à l'exutoire du système karstique mais à des piézomètres qui ne représentent à eux seuls en aucune façon le fonctionnement global du système karstique. De plus, les mesures ne sont pas faites au droit des formations calcaires où sont susceptibles d'exister des circulations souterraines privilégiées, mais au droit des formations sablo-argileuses ou marneuses qui recouvrent ces calcaires.

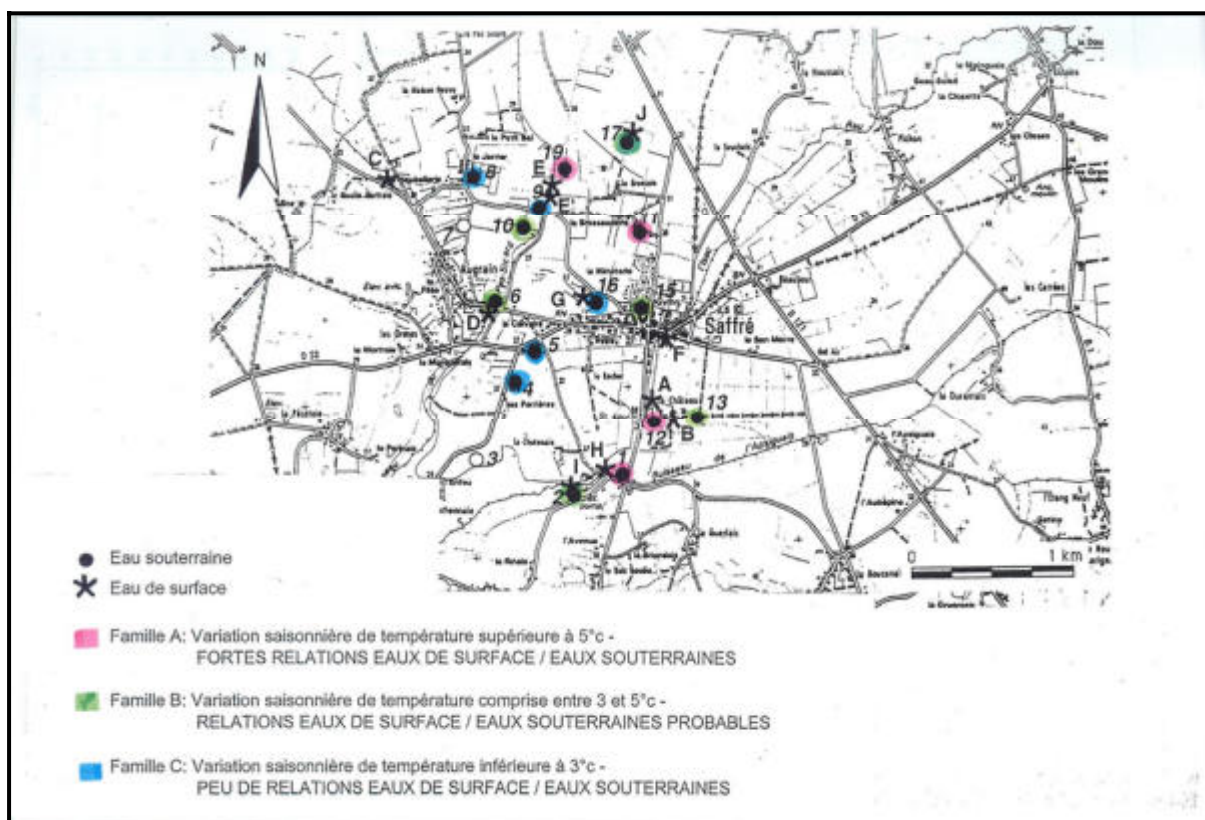


Figure 11 : Localisation des piézomètres où la température de l'eau a été mesurée en 1999

(source : Rapport CG44 99-DEACV-n°210, décembre 1999)

## 2.5 - BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES DU KARST

### 2.5.1 - LA NOTION DE KARSTIFICATION

La karstification est un processus physico-chimique complexe qui, sous l'effet de la circulation d'eau souterraine ( $H_2O$ ) chargée en gaz carbonique ( $CO_2$ ), provoque la dissolution de roches calcaires ( $CaCO_3$ ) initialement fracturées et aboutit à la mise en place d'un réseau de drainage souterrain plus ou moins développé et hiérarchisé. Ce réseau permet une circulation rapide des eaux dans le massif calcaire vers un nombre restreint d'exutoires appelés communément émergence karstique.

Ainsi que le résume la [figure 12](#) ci-après, plusieurs conditions sont indispensables pour qu'un processus de karstification se mette en place et qu'il aboutisse à la création d'un aquifère karstique :

1 - il faut d'abord avoir de l'eau. Celle-ci est fournie par les précipitations (pluie, neige) qui apportent en moyenne chaque année dans la région une lame d'eau de l'ordre 820 mm.

2 - il faut disposer de gaz carbonique pour que l'eau de pluie acquière son pouvoir de dissolution vis-à-vis des roches calcaires. Celui-ci est acquis par l'eau lorsqu'elle s'infiltre à travers le sol où le  $CO_2$  est produit par l'importante activité microbologique qui y règne.

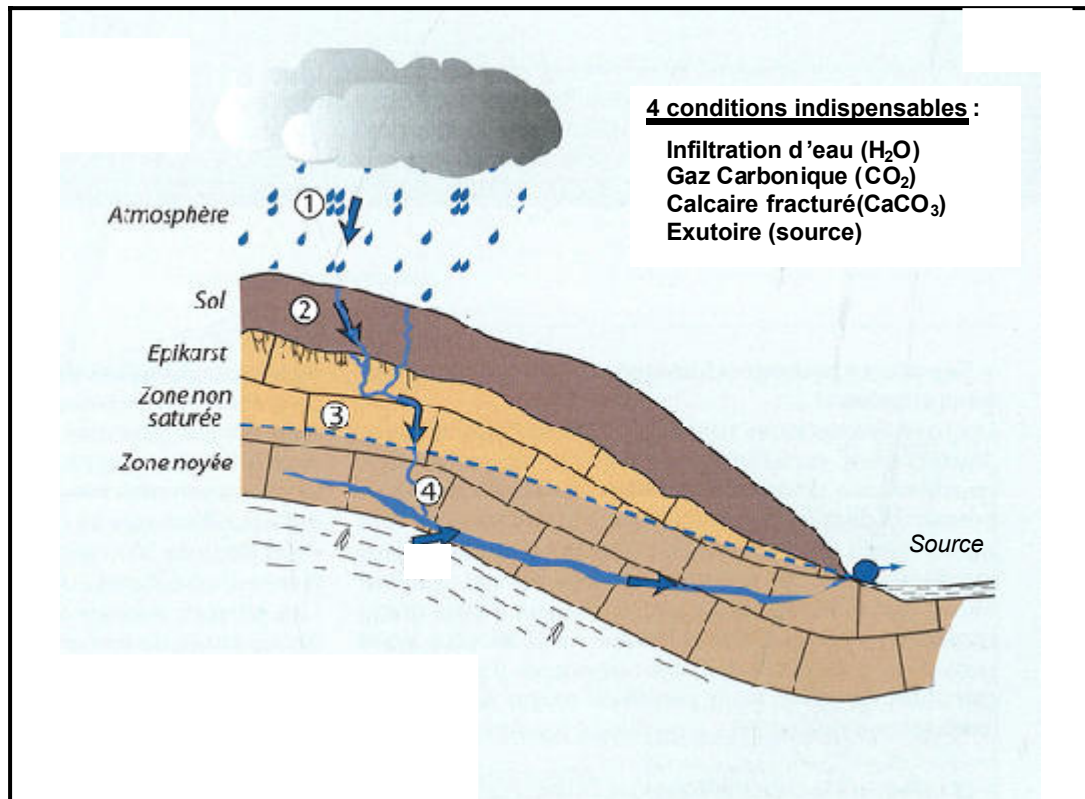
3 - il faut aussi que l'eau puisse circuler au sein de la roche calcaire qui est généralement plutôt une roche imperméable. Cette circulation est permise lorsque des discontinuités affectent la roche calcaire. Il s'agit le plus souvent de fractures ouvertes qui vont peu à peu être élargies par la dissolution. Ceci suppose aussi que les calcaires contiennent peu d'éléments insolubles (argiles). En effet les particules insolubles résultant de la dissolution des calcaires vont contribuer à colmater les fines fissures initialement ouvertes. C'est la raison pour laquelle il ne se développe pas de karst dans des calcaires marneux ou bien dans des marnes. De plus, cette dissolution doit se concentrer préférentiellement en des points particuliers pour aboutir à la mise en place d'écoulements de type karstique. Si la fissuration est uniformément répartie à la surface des calcaires, la dissolution sera uniforme et elle n'aboutira pas à la mise en place de circulations karstiques.

4 - il faut enfin qu'il existe un exutoire pour que l'eau transitant dans les calcaires, qui s'est chargée en carbonates, puisse les exporter en dehors de l'aquifère. En l'absence d'exutoire, l'eau atteint un certain équilibre chimique avec les carbonates et ne peut plus dissoudre de calcaire. Le mécanisme de dissolution est alors stoppé. Cet exutoire (source) est en général établi au voisinage du niveau de base local des écoulements représenté par les cours d'eau superficiels.

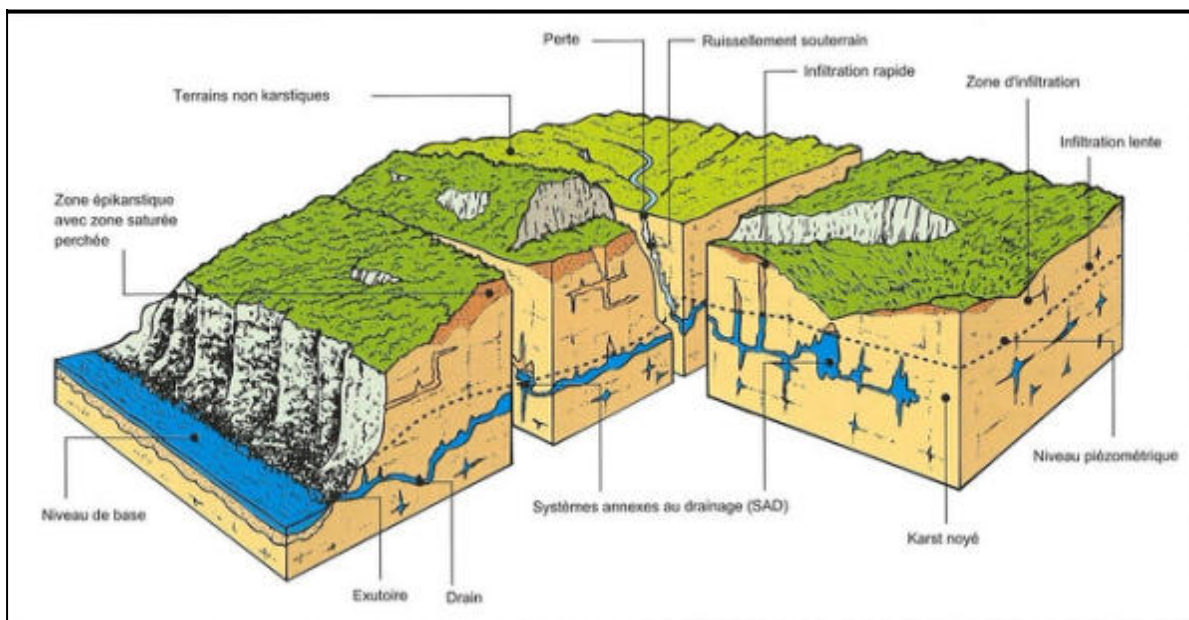
Ainsi ce n'est pas parce qu'il y a des calcaires, qu'il existe pour autant un aquifère karstique. Le développement d'un aquifère karstique dépend du potentiel de karstification qui est conditionné par l'effet conjoint du pouvoir dissolvant de l'eau (disponibilité en  $CO_2$ ) et du débit d'eau souterraine capable de transiter à travers le massif calcaire pour regagner l'exutoire (quantité d'eau disponible, différence d'altitude entre la zone d'infiltration et l'exutoire, zones privilégiées de fracturation).

La forme la plus achevée de la karstification aboutit à la formation d'une morphologie particulière à la surface des zones d'affleurement des calcaires (dite exo-karstique) et à la création de vides souterrains plus ou moins développés accessibles à l'exploration spéléologique : gouffres, grottes et rivières souterraines (morphologie endo-karstique). Ce paysage particulier est schématisé sur le bloc diagramme ci-après ([Fig. 13](#)).





**Figure 12 : Schéma des conditions indispensables au développement de la karstification**  
(source : Karst et Grottes de France, Karstologia Mémoires n°20, décembre 1999)



**Figure 13 : Modèle conceptuel d'aquifère karstique (d'après A. Mangin, 1975)**  
(source : Aquifères et Eaux souterraines en France, AIH-BRGM Editions, mars 2006)

Il est bien évident que dans le bassin de Saffré ne présente pas une évolution aussi aboutie que celle présentée sur le schéma ci-dessus. Une différence majeure entre le bassin de Saffré et cette représentation, est le relief. A Saffré, le relief est quasi-inexistant. Les différences d'altitude entre les zones les plus hautes et les plus basses de la zone étudiée n'excèdent pas 5 à 10 m (Fig. 1 et 2).

L'objet de la présente étude va donc être de chercher à caractériser le degré de développement de la karstification au sein de l'aquifère des calcaires oligocènes.

## 2.5.2 - LES INDICES DE MOPHOLOGIE KARSTIQUE CONNUS

### 2.5.2.1 - Connaissances à partir de textes historiques

D'après les propos issus du Dictionnaire géographique des communes de 1829 et repris dans le bulletin municipal « Saffré-Infos » de Novembre 2010, des effondrements étaient déjà connus à Saffré : « *Dans quelques portions du terrain le sol s'est affaissé, et des gouffres profonds ont paru tout-à-coup au milieu des plaines. La source de l'Isac est dans un gouffre semblable ; on ne peut en trouver le fond* ».

Des informations plus précises sont relatées par A. Leroux, ancien habitant de Saffré, dans un article portant sur le Gouffre de la Chutenaie et publié dans le Bulletin de la Société archéologique de Nantes et de Loire Inférieure de 1909 (pp. 114-120). Il fait une description assez précise de ce gouffre qui était vers 1850 situé dans une boucle naturelle de l'Isac, à 100 m au Nord de son cours principal et quelques centaines de mètres au Sud de la ferme de la Chutenaie. La rivière était à l'époque une succession de mares reliées entre elles par un écoulement. Vers 1860 une dérivation de l'Isac a été effectuée pour faire transiter l'essentiel du débit de la rivière par le gouffre. Cet aménagement eut pour conséquence le comblement partiel du gouffre par les alluvions charriées par l'Isac et l'obturation de la source qui l'alimentait. C'est alors qu'apparut un nouveau gouffre sur le flanc sud de l'ancien, d'où jaillissait une « *source puissante* ».

C'est le gouffre reconnu par A. Leroux. Il avait un diamètre d'environ 40 m et était rempli d'eau claire et avait un fond en forme d'entonnoir. Un écoulement en sortait seulement en hiver. Celui-ci était canalisé sur 200 m environ pour aller se jeter dans l'Isac. L'Isac connaissait déjà à cette époque des périodes de 2 à 3 mois d'assèchement au droit de la Chutenaie.

A. Leroux signale aussi la présence de 2 autres gouffres :

- un à 50 m du précédent, de 3 m de diamètre et aux parois verticales, avec un niveau d'eau à 1 à 2 m sous la surface du sol, qui pouvait devenir émissif en hautes eaux ;
- un second éloigné de 100 m, qui s'est créé par effondrement et avait une largeur d'environ 6 m. Il était envahi de broussailles.

Ce témoignage indique que le secteur de la vallée de l'Isac, situé au Sud de la Chutenaie, correspond à une zone d'émergence karstique connue de longue date par la population locale. Son importance faisait dire à l'époque qu'il s'agissait de la source de l'Isac. La formation d'effondrements correspondait alors, en l'absence de tout pompage dans la nappe, à des phénomènes qui se produisaient naturellement.

A. Leroux parle également de l'extraction de la chaux à Saffré entre la fin du XVI<sup>ième</sup> siècle et le milieu du XIX<sup>ième</sup> siècle. Il y avait alors sur la commune une vingtaine de fours à chaux, dont quelques-uns à la Chutenaie. Il signale l'existence de 2 ou 3 grandes excavations entre la Chutenaie et le gouffre, converties depuis en véritables étangs. La mare actuelle de la Chutenaie correspond vraisemblablement à ces anciennes fosses d'extraction.

Il n'est pas impossible que certaines dépressions attribuées aujourd'hui à des effondrements karstiques, correspondent à d'anciennes zones d'extraction de calcaires pour produire la chaux.

### 2.5.2.2 - Les formes karstiques observables aujourd'hui en surface

Les formes de relief karstique telles que les dolines, les poljés ou bien encore les lapiés ne sont pas connues à Saffré, y compris dans les zones où les calcaires sont sub-affleurants.

Les principales manifestations de nature karstique connues sont les pertes de cours d'eau. Celles-ci sont parfois diffuses, mais elles se manifestent en d'autres endroits de façon plus spectaculaire par la formation de petits effondrements ou d'entonnoirs plus ou moins larges. Certaines photos sont reproduites en [annexe 3](#) à titre d'exemple.

L'usage habituel depuis une vingtaine d'année est de combler systématiquement ces pertes ponctuelles bien individualisées, dans l'espoir de les colmater et de garantir ainsi la protection des eaux souterraines. Il en résulte qu'aujourd'hui le nombre de pertes visibles est moins important ; mais il n'en demeure pas moins que ces pertes perdurent, celles-ci se faisant maintenant de façon plus diffuses.

Au début des années 1990, d'importants travaux ont été entrepris sur les cours de l'Isac et du Pas-Sicard de façon à reboucher les pertes naturelles qui jalonnaient leur lit, ainsi que certains effondrements.

Dans un rapport de GEOSCOPI de juin 1991, l'implantation de 11 effondrements anciens ou récents est notée. Ceux-ci apparaissent le long du Pas-Sicard au niveau d'Augrain et en amont. Deux sont également signalés au lieu-dit Les Ormes, dont un semble correspondre à une véritable cavité karstique recoupée par un forage exploité pour l'alimentation en eau de deux poulaillers. Plusieurs cavités karstiques de taille modeste auraient été mises à jour lors des travaux de terrassement des poulaillers.

Dans un rapport de Lithologic de novembre 1991 (n° R/PB/91.040), il est fait état de quatre effondrements non rebouchés en bordure de l'Isac à la Chutenaie dont le diamètre et la profondeur varient entre 3 et 7 m. Deux zones d'expansion du cours de l'Isac sont également signalées dont une est le siège de pertes. Ce rapport relate les travaux de comblement de ces effondrements et l'aménagement du cours de l'Isac. Sur les photographies, on constate que les calcaires sont sub-affleurants. La présence d'une galerie de taille apparemment réduite et comblée par des graviers est indiquée au fond d'un ces gouffres. D'après la description cette galerie était surmontée par des argiles vertes.

Ces travaux ont été réalisés alors que le lit de l'Isac était asséché. Mais les écoulements ont repris à la faveur d'un épisode pluvieux avant la fin des travaux. A cette occasion, un effondrement de 1,5 m de profondeur s'est formé dans le lit de l'Isac en aval d'un secteur où des enrochements avaient été mis en place en rive gauche. Cet effondrement absorbait alors la totalité du débit de l'Isac. Dans ce secteur existe aujourd'hui un vaste entonnoir au fond du lit de l'Isac ([annexe 3](#)).



Des travaux similaires ont été réalisés à l'automne 1992 dans le lit du Pas-Sicard à Augrain. Le décapage préalable des zones d'effondrement jusqu'au toit des calcaires a permis de mettre en évidence deux conduits karstiques sub-verticaux de taille pluridécimétrique. Ces conduits présentent une taille plus modeste que l'effondrement visible en surface auquel ils ont donné lieu (taille généralement métrique à pluri métrique)

Il est constaté que tous ces travaux de colmatage des effondrements et des pertes de cours d'eau n'ont pas amélioré de façon significative les problèmes de turbidité et de bactériologie rencontrés sur les captages en automne, à la reprise des écoulements superficiels, ni réduit la vitesse de transit des eaux souterraines (cf. § 2.4.3.2 et 2.4.3.3).

### 2.5.2.3 - Conclusion sur l'existence d'un karst

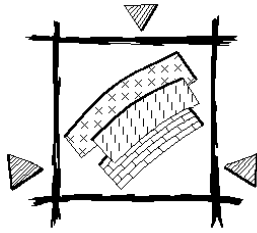
Après examen des données bibliographiques disponibles, il ressort que les manifestations karstiques reconnues sur le bassin de Saffré se limitent :

- à des pertes localisées ou diffuses des écoulements superficiels sur trois cours d'eau : l'Isac, le Pas-Sicard et le ruisseau de Puceul ;
- à des effondrements de taille métrique à plurimétrique qui sont assez fréquemment associés aux zones de perte ;
- des gouffres dans le secteur de la Chutenaie qui, dans le passé, étaient remplis d'eau, débordaient en période de hautes eaux, et constituaient donc des émergences temporaires ;
- deux conduits karstiques subverticaux de taille pluridécimétrique, reconnus dans le lit du Pas-Sicard à Augrain en lien avec des effondrements ;
- au moins une cavité karstique signalée aux Ormes dont les dimensions n'ont pas été précisées. De ce fait, nous en déduisons que celle-ci ne devait pas être volumineuse.

Ainsi, à l'exception du « gouffre insondable de la Chutenaie », aucune cavité de grande ampleur n'a été décrite dans le bassin de Saffré. Les quelques conduits découverts à l'occasion des travaux de rebouchage des effondrements, n'ont en effet pas permis de mettre à jour de cavités visitables par l'homme.

Nous ajouterons que les travaux de foration réalisés dans le cadre de la mise en place des captages ou bien lors de la réalisation de piézomètres, n'ont recoupé qu'à une seule occasion une cavité de taille importante. Il s'agit du captage F2 réalisé en 1990 qui a rencontré entre 64 et 68 m de profondeur une zone de perte totale du fluide de foration associée avec des vitesses d'avancement élevées traduisant l'existence probable d'une zone karstifiée à ce niveau.

Il apparaît donc vraisemblable que le degré de karstification des calcaires oligocènes n'est pas très poussé et qu'il n'a rien de comparable avec ce qui l'on observe dans les régions véritablement karstiques telles que les Grands Causses en Lozère et en Aveyron, ou bien encore les causses de Dordogne ou du Lot où de nombreux avens ou grottes sont aménagés pour des visites touristiques.



### 3 - RESULTATS DE L'ETUDE GEOLOGIQUE

Dans l'optique d'une évaluation des zones à risque karstique, une meilleure compréhension de la géologie du bassin était nécessaire. C'est la raison pour laquelle une campagne géophysique a été réalisée sur la commune de Saffré entre avril et août 2011.

La taille de la zone d'étude étant importante, une carte électromagnétique avec une maille large (100 m x 100 m), complétée par des méthodes plus ponctuelles (tomographie et sondage électrique) ont permis de mettre en évidence la structure générale du bassin. De nouvelles données géologiques obtenues à partir des études géotechniques disponibles en mairie et de la réalisation de quatre piézomètres complémentaires sont venues conforter l'interprétation des données géophysiques. Les résultats détaillés de cette étude sont exposés dans le rapport Calligée N11-44084-A. Dans ce chapitre, seuls les principaux résultats obtenus sont rappelés.

La géologie du bassin de Saffré est vraisemblablement très complexe et mériterait de faire l'objet d'investigations encore plus détaillées. Néanmoins les nouvelles données géologiques acquises permettent de fournir une représentation globale de la structure du bassin de Saffré.

Pour avoir une représentation visuelle du remplissage du bassin d'effondrement de Saffré, deux coupes géologiques recoupant les structures principales ont été réalisées :

- une première coupe orientée SW-NE passant par la Chutenaie, le Rocher et le centre du bourg de Saffré (Fig. 14) ;
- d'une seconde coupe orientée NW-SE passant par Augrain, le Rocher et le Château de Saffré (Fig. 15).

Sont reportés sur ces coupes quelques forages, piézomètres, sondages électriques et tomographies permettant d'appréhender la répartition spatiale ainsi que la profondeur d'investigation des diverses méthodes de prospection.

L'objectif final de toutes ces investigations étant d'aboutir à une carte de zonage du risque karstique et notamment des phénomènes d'effondrement, en lien avec l'exploitation des captages AEP, il a été réalisé une carte géologique de synthèse présentant les principales informations nécessaires à connaître (Fig. 16), à savoir :

- la profondeur du toit du calcaire marin aquifère (courbes rouges) ;
- les couches géologiques présentes en surface ;
- les failles reconnues en géophysique ;
- le réseau hydrographique ;
- les effondrements recensés.

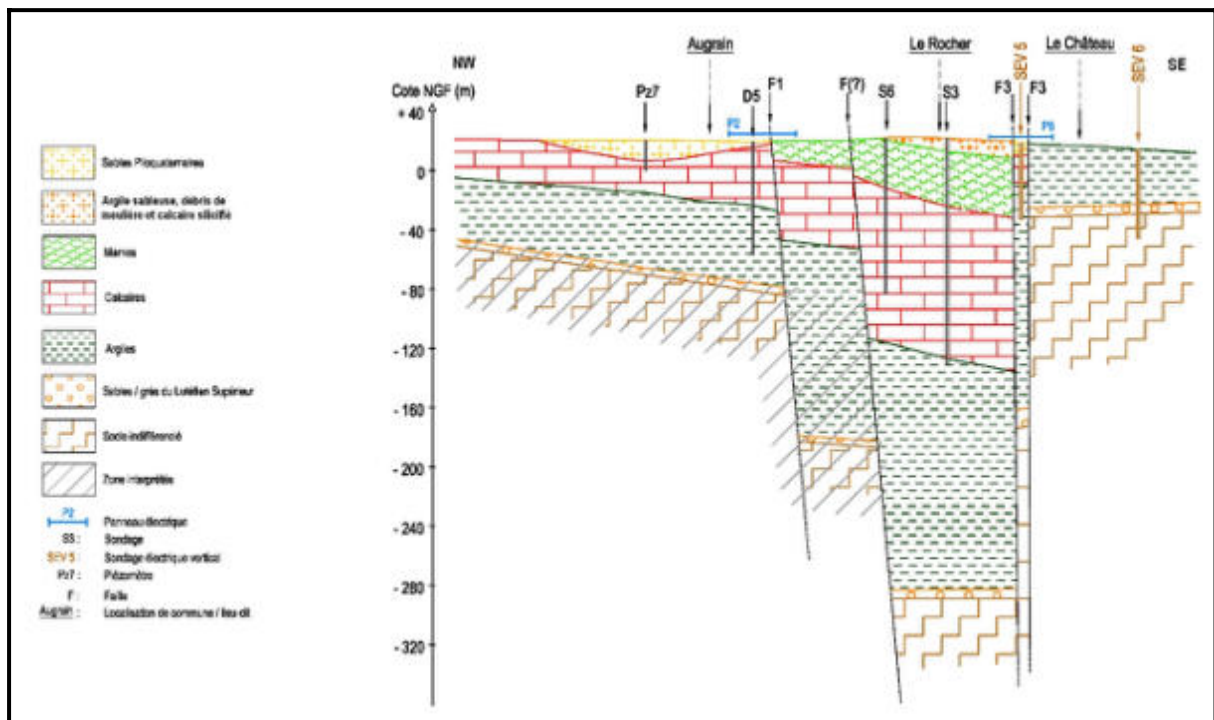


Figure 14 : Coupe géologique interprétative NW-SE à travers le bassin de Saffré

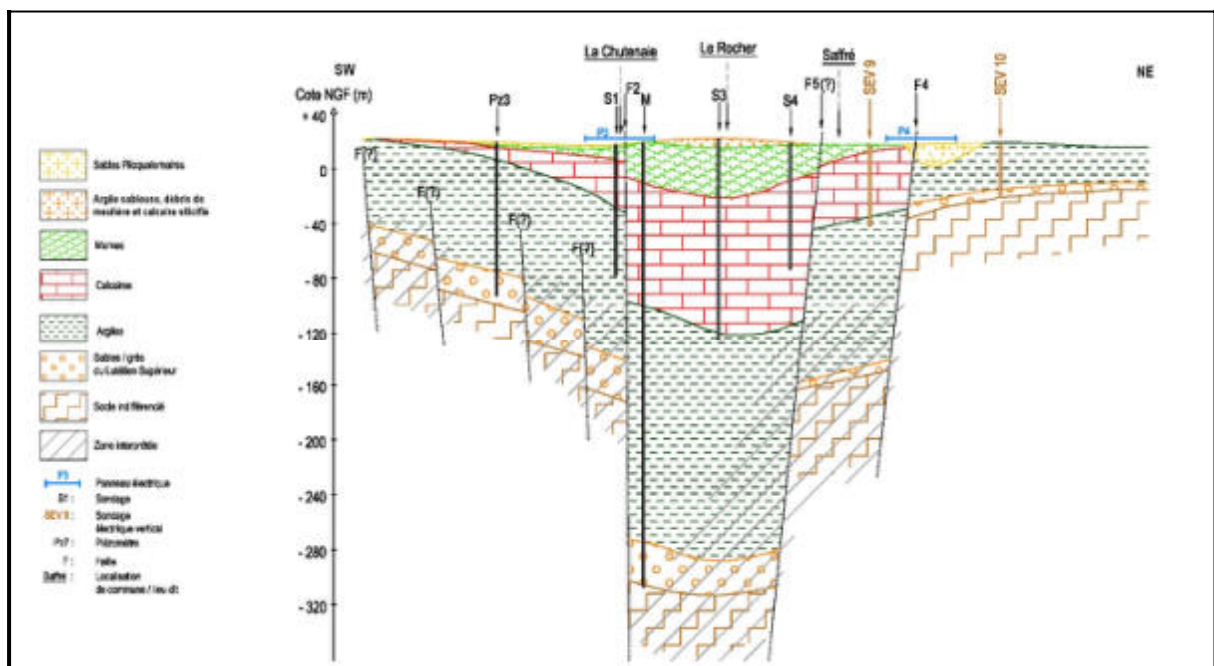


Figure 15 : Coupe géologique interprétative SW-NE à travers le bassin de Saffré



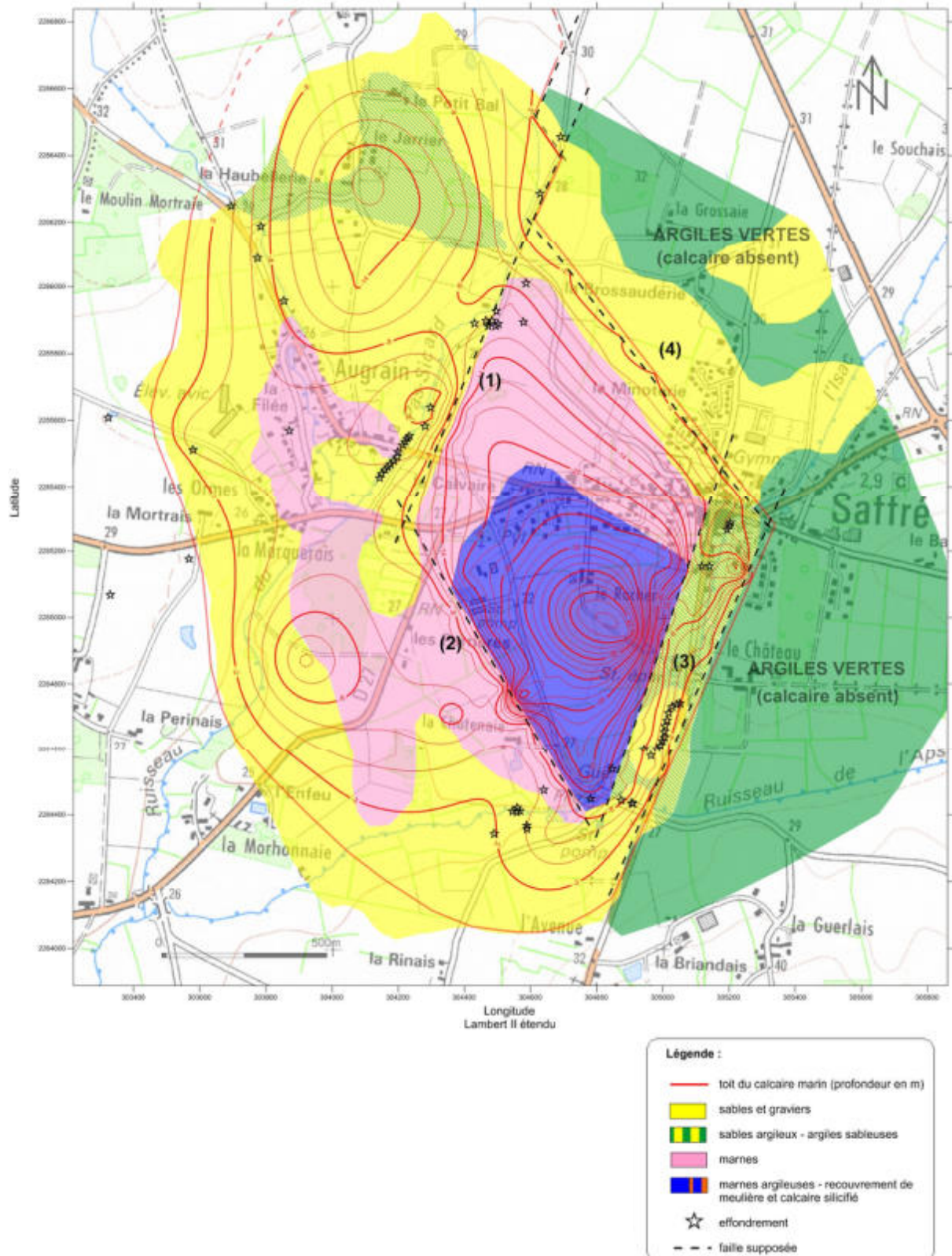


Figure 16 : Carte de la synthèse géologique du bassin de Saffré

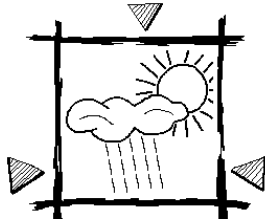
A l'analyse de ces documents, il ressort que l'aquifère calcaire exploité pour les besoins du SIAEP de Nort-sur-Erdre n'existe pas dans les parties est et nord-est du bourg de Saffré, soit au-delà de la faille (4) et du couloir faillé (3) (Fig. 16). Dans la partie centrale du bassin, délimitée par les quatre failles principales, l'aquifère est surmonté par des marnes imperméables dont l'épaisseur augmente vers le Sud - Sud-Est. Leur puissance est de l'ordre de 5 m au Sud de la faille F4, et dépasse 30 m au droit des captages AEP. Leur épaisseur maximale serait rencontrée au Sud de l'ancienne ferme du Rocher.

Dans la partie ouest et sud-ouest du bassin, les calcaires sont proches de la surface, mais n'affleurent pas pour autant dans la zone étudiée. Ils sont surmontés le plus souvent par des sables pliocènes dont l'épaisseur est très variable. Celle-ci n'excède pas 6 à 8 m au sud-ouest et aux abords d'Augrain ; mais peut atteindre 15 à 20 m et même plus du côté du Jarrier. Dans les secteurs de la Chutenaie et d'Augrain, les calcaires sont surmontés par des argiles à silex. Généralement ces calcaires paraissent altérés à leur partie supérieure et transformés en marnes blanchâtres.

Selon des données de la carte géologique de Nort-sur-Erdre, la limite d'extension des calcaires vers l'Ouest et le Sud-Ouest passerait approximativement par le Moulin Mortraie, La Périnais, puis au Sud de la Morhonnaie et de la Rinais. Au-delà ce sont les argiles oligocènes constituant partie inférieure de la série oligocène qui affleurent. A l'enfeu, ces argiles ont été reconnues en forage sous 22 m de calcaire et jusqu'à une profondeur de 94 m. On retrouve cette même formation dans la partie est (Château) et nord-est du bassin (Brossauderie, stade).

L'étude géophysique n'a pas reconnu la limite nord d'extension des calcaires oligocènes. D'après la carte géologique de Nort-sur-Erdre, il semblerait que les faciès calcaires disparaissent vers le Nord au profit des horizons marno-calcaires constituant le haut de la série sédimentaire oligocène. En effet dans toute cette partie nord du bassin, ces niveaux marno-calcaires reposent directement sur les argiles que l'on retrouve normalement en dessous des calcaires. Ce contact entre marno-calcaires et argiles passerait entre les fermes de la Maison Neuve et du Pas Sicard, puis plus à l'Est entre celles du Souchais et du Houssais.

La connaissance plus approfondie de la structure géologique du bassin de Saffré a servi à orienter les investigations hydrogéologiques prévues dans la seconde phase de l'étude. L'étude hydrogéologique permettra dans un premier temps de mieux préciser qu'elle est la représentativité des niveaux piézométriques mesurés en une vingtaine de points du bassin, tous n'étant pas en effet implantés dans l'aquifère calcaire. L'analyse de la répartition des effondrements au regard de la structure géologique du bassin devrait aussi permettre de mieux comprendre le contexte dans lequel ils apparaissent. Enfin, l'étude des variations piézométriques au sein de l'aquifère calcaire aura pour finalité de préciser l'aire d'influence des pompages AEP et leur incidence éventuelle sur les phénomènes d'effondrement constatés. Cette approche hydrogéologique débouchera sur l'élaboration d'une carte des risques d'effondrement karstique.



## 4 - INVESTIGATIONS HYDROGEOLOGIQUES

### 4.1 - INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

Dans la perspective d'effectuer des mesures de niveau d'eau sur les eaux souterraines afin de connaître les directions des écoulements souterrains et distinguer le comportement des différentes nappes en présence dans le bassin de Saffré, un inventaire des différents points d'eau a été établi.

A cette fin, les différents piézomètres mis en place lors des campagnes de 1991 et 1992, ont été recherchés en s'appuyant sur l'inventaire qui avait déjà été établi en 2000 à la demande du Conseil Général de Loire-Atlantique dans le cadre de ses actions de suivi des nappes d'eaux souterraines à l'échelle du Département (Rapport Calligée N01-44027, mars 2001). Cet inventaire a été complété, avec le concours des élus de Saffré, par sélection de différents puits domestiques susceptibles de présenter un intérêt compte tenu de leur localisation. L'objectif étant de recueillir le maximum d'information sur la nappe des calcaires oligocènes.

Sur les 41 points d'eau qui ont ainsi été répertoriés (18 puits et 23 forages ou piézomètres), 1 seul n'a pas pu être retrouvé (Pz 12). Il a manifestement été détruit. En cours d'étude, les 4 nouveaux piézomètres réalisés dans le centre du bourg sont venus compléter cet inventaire. Les caractéristiques principales des différents points d'eau sont présentées dans un tableau ci-après ([Tab. 2](#)) et leur localisation est indiquée sur la carte de la [figure 17](#).

### 4.2 - PIEZOMETRIE A L'ECHELLE DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE ETUDIEE

#### 4.2.1 - DEROULEMENT DES CAMPAGNES PIEZOMETRIQUES

Afin de mieux préciser les modalités d'écoulement des eaux souterraines au sein de l'aquifère calcaire oligocène, deux premières campagnes de mesures piézométriques ont eu lieu en hautes eaux et en basses eaux. Sur toute la zone d'étude, un maximum de 40 points d'eau ont donc été visités dans le cadre de ces campagnes. La première campagne a été réalisée le 20/04/11, en période de hautes eaux. La seconde campagne s'est déroulée le 28/09/11, en période de basses eaux. Elle ne repose que sur 29 mesures, car certains piézomètres ou puits insuffisamment profonds se trouvaient asséchés à cette période de l'année où les niveaux sont les plus bas.

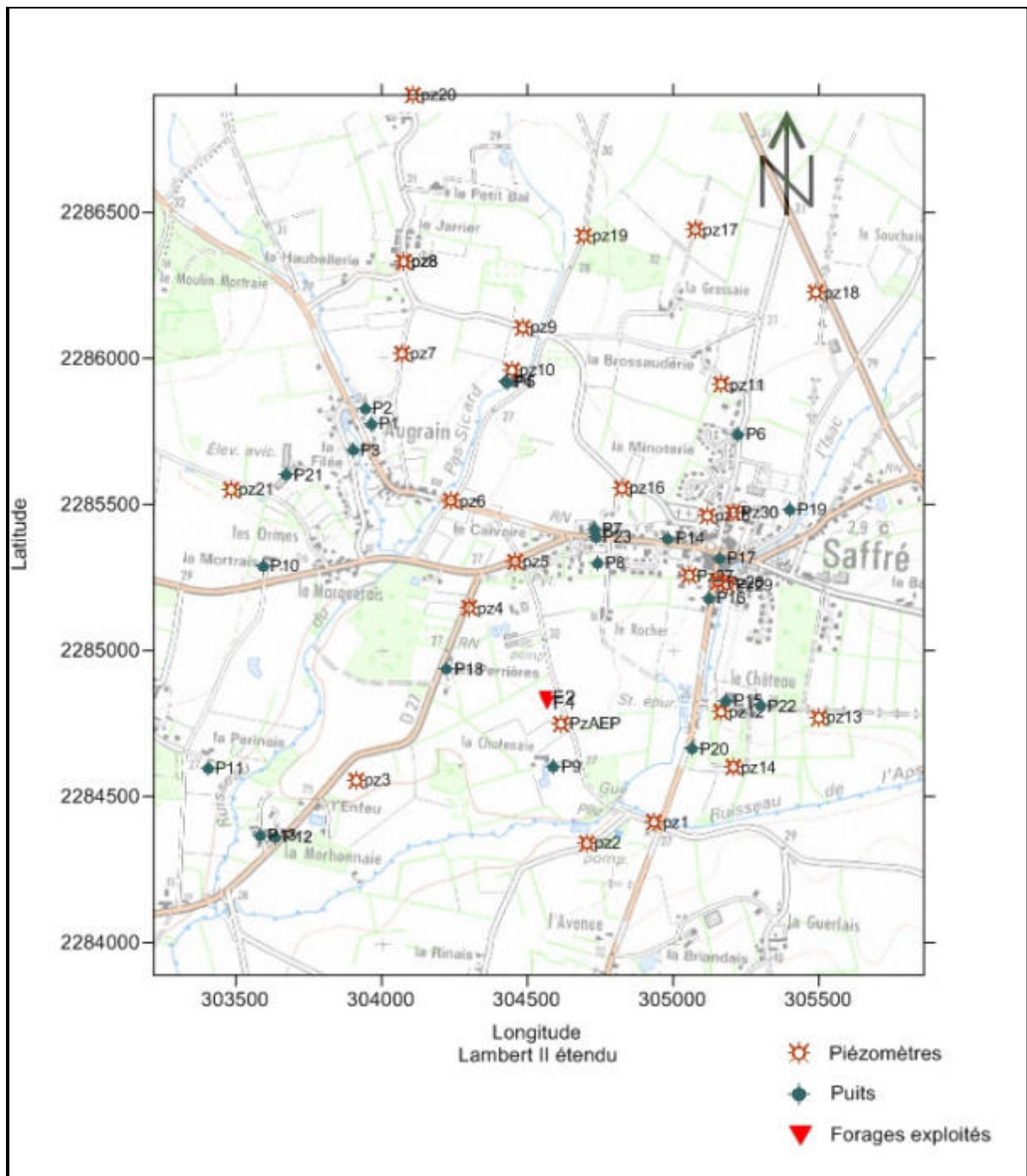


Figure 17 : Carte de localisation des points d'eau souterraine mesurés sur le bassin de Saffré



Tableau 2 : Caractéristiques des mesures piézométriques effectuées sur le bassin de Saffré

Caractéristiques des points de mesure				Campagnes piézométriques						Essai de pompage			Aquifère capté			
Numéro	Ancien numéro	Nature	Année de réalisation	Repere de mesure			20/04/2011		28/09/2011		11/10/2011	14/10/2011		amplitude		
				Nature	H/Sol	m NGF	Niveau statique		Niveau statique		N.S.	N.D. final				
				m/repère	m/repère	m/sol	m NGF	m/repère	amplitude	m/repère	m/repère	m/repère				
Pz 6		F	Piézo sept 97	Haut tubage acier	0.42	25.82	16.40	2.73	2.31	22.89	8.35	5.52	8.37	8.83	0.47	Calcaires marins
P1		P	Puits domestique	milieu margelle	0.45	27.10	4.71	2.90	2.45	24.20	> 4.7 (sec)	sec				Nappe perchée
P2		P	Puits domestique	margelle côté droit	0.78	27.42	4.45	3.21	2.43	24.21	> 4.44 (sec)	sec				Nappe perchée
P3		P	Puits domestique	ardoise cassée (encoche)	0.10	26.51	5.95	2.30	2.20	24.21	4.82	-2.52	4.97	4.98	0.01	Nappe perchée
Pz 7		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier	0.35	30.16	8.90	6.54	6.19	23.62	8.12	-1.58	> 9.30 (sec)			Calcaires marins
Pz 8		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier	0.00	30.20	13.05	6.79	6.79	23.41	10.44	-3.65	10.49	10.54	0.05	Nappe perchée
Pz 20		F	Piézo Février 92	Cadenas IFAM	0.63	33.23	5.35				3.48		3.53	3.55	0.02	Plio-Quaternaire
Pz 19		F	Piézo Février 92	Haut tubage acier	0.14	28.86	10.40	2.58	2.44	26.28	4.51	-1.93	4.59	4.55	-0.04	Plio-Quaternaire
Pz 9		F	Piézo sept 97	Haut tubage acier	0.43	28.05	16.05	3.98	3.55	24.07	10.03	-6.05	10.23	10.43	0.20	Plio-Quaternaire
Pz 10		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier	0.35	28.82	6.10	3.57	3.22	23.25	> 6.1 (sec)	sec				Calcaires marins
Pz24	P4	F	Forage particulier	margelle (0.62 IPN)	0.56	27.11	31.10	3.57	3.01	23.54	9.26	-5.69	9.33	9.73	0.41	Calcaires marins
P5		P	Puits domestique	margelle	0.25	26.38	8.75	3.17	2.92	23.21	8.61	-5.64	> 8.77 (sec)			Calcaires marins
Pz 17		F	Piézo Février 92	Haut tubage acier	0.41	30.99	11.30	0.94	0.53	30.05	2.28	-1.34	2.31	2.33	0.02	Argiles éocènes
Pz 11		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier (= PVC)	0.28	31.17	4.30	1.13	0.85	30.04	1.58	-0.45	1.65	1.70	0.05	Argiles éocènes
Pz 15		F	Piézo Février 92	Haut tubage acier	0.40	28.89	9.65	5.71	5.31	23.18	> 9.66 (sec)	sec	> 9.72 (sec)			Calcaires marins
P6		P	Puits domestique	niveau le plus bas de la margelle	0.33	29.97	7.95	5.74	5.41	24.23	7.08	-1.34	7.09	7.11	0.02	Argiles éocènes
Pz 16		F	Piézo Février 92	Haut tubage acier	0.38	27.69	6.50	4.49	4.11	23.20	> 6.49 (sec)	sec				Calcaires marins
P7		P	Puits domestique	sur la margelle	0.80	29.63	7.32	3.59	2.79	26.04	5.95	-2.36	6.07	6.10	0.02	Nappe perchée
Pz23	P23	F	Piézo géotechnique	haut bouche à clé	0.01	29.73	13.80				6.34		6.46	6.48	0.03	Nappe perchée
P8		P	Puits domestique	Niveau grille	0.43	31.56	8.78	1.86	1.43	29.70	3.27	-1.41	3.55	3.61	0.06	Nappe perchée
Pz 5		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier	0.90	29.12	10.50	3.66	2.76	25.46	6.13	-2.47	6.25	6.30	0.05	Calcaires marins
Pz AEP		F	Piézo SIAEP	Haut tubage acier	0.90	31.62	67.40	9.71	8.81	21.91	15.73	-6.02	13.33	15.96	2.63	Calcaires marins
P9		P	Puits domestique	mesure au sommet	1.28	27.44	7.75	2.75	1.47	24.69	6.78	-4.03	6.90	6.94	0.04	Nappe perchée
P10		P	Puits domestique	mesure côté droit	0.43	26.79	6.10	2.43	2.00	24.36	5.24	-2.81	5.36	5.28	-0.08	Marnes
Pz 21		F	Piézo Février 92	Haut tubage acier	0.51	27.55	6.80	2.91	2.40	24.64	4.39	-1.48	4.46	4.49	0.03	Calcaires marins
P11		P	Puits domestique	Niveau Sol	0.00	25.13	3.80	1.06	1.06	24.07	2.36	-1.30	2.42	2.43	0.00	Argiles éocènes
P12		P	Puits domestique		0.72	25.30	3.70	2.31	1.59	23.49	3.94	-1.23	3.60	3.60	0.00	Argiles éocènes
P13		P	Puits domestique	Coin gauche	0.41	24.65	7.55	1.23	0.82	23.42	1.71	-0.48	1.76	1.76	0.00	Argiles éocènes
P14		P	Puits domestique		0.00	28.28	8.38	5.08	5.08	23.20	> 7.26	sec				Calcaires marins
Pz 2		F	Ancien captage AEP	mesure haut bord	0.56	25.74	112.00	2.65	2.09	23.09	8.25	-5.60	8.25	8.79	0.54	Calcaires marins
Pz 1		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier	0.72	26.47	7.05	2.16	1.44	24.31	2.25	-0.09	2.24	2.23	-0.01	Calcaires marins
P15		P	P		0.70	28.12	16.10	4.25	3.55	23.87	9.03	-4.78	8.82	8.72	-0.10	Argiles éocènes
Pz 12		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier			11.00									Argiles éocènes
P16		P	P	margelle côté droit	0.33	26.48	3.55	3.35	3.02	23.13	3.50	sec				Calcaires marins
P17		P	P	margelle côté droit	0.38	27.19	5.55	4.02	3.64	23.17	5.00	sec				Calcaires marins
Pz 4		F	Piézo juin 91	Haut tubage acier	0.40	27.77	7.75	4.16	3.76	23.61	> 7.75 (sec)	sec				Calcaires marins
P18		P	P	Margelle béton	0.30	27.31	5.80	3.95	3.65	23.36	> 5.79 (sec)	sec				Calcaires marins
Pz26	P19	F	Forage municipal	Margelle béton	1.04	28.21	36.00	2.86	1.82	25.35	2.25	0.61	3.34 (ND)	1.56	-1.79	Argiles éocènes
P20		P	P	Margelle béton	0.00	26.06	4.65	2.14	2.14	23.92	3.87	-1.73	4.28	4.20	-0.08	Argiles éocènes
Pz22	P21	F	Forage agricole	Sur route : sous graviers	-0.14	27.22	20.00	2.91	3.05	24.31	5.61	-2.70	5.71	5.30	-0.41	Calcaires marins
Pz25	P22	F	Forage particulier	Couvercle bombé orange	0.18	28.57	33.07	0.08	-0.11	28.50	0.10	-0.03	-0.08	-0.08	0.00	Argiles éocènes
Pz27	F1	F	Piézo Janvier 2012	Haut tubage PVC	0.58	27.54	15.20									Nappe perchée
Pz28	F2	F	Piézo Janvier 2012	Haut tubage acier	0.74	27.38	16.33									Calcaires marins
Pz29	F3	F	Piézo Janvier 2012	Haut tubage acier	0.73	26.98	19.05									Calcaires marins
Pz30	F4	F	Piézo Janvier 2012	Haut tubage acier	0.71	28.43	15.95									Plio-Quaternaire

Profondeurs

- < 10 m
- 10 à 20 m
- 20 à 50 m
- > 50 m

N.S. = Niveau statique  
N.D. = Niveau dynamique

rabattement maximal durant le pompage

- > 40 cm
- 20 à 40 cm
- 10 à 20 cm
- 3 à 10 cm
- 0 à 3 cm
- < 0 cm
- sec



Lors de ces campagnes piézométriques les quatre piézomètres du centre bourg (Pz 27 à Pz 30) n'étaient pas encore réalisés. De ce fait, on se trouve dépourvu de mesures piézométriques dans ce secteur lors de la campagne de basses eaux. A noter également l'absence de point de mesure concernant la partie centrale du bassin de Saffré dans le secteur du Rocher, entre les captages AEP et le centre bourg. Des sondages suffisamment profonds ont bien été réalisés dans ce secteur lors des campagnes Lafarge, mais ces derniers n'ont pas été équipés en piézomètre à l'époque. Ils ont été rebouchés.

Pour l'interprétation de ces mesures, il a par la suite été nécessaire de se reporter aux coupes géologiques connues sur les ouvrages mesurés pour en déduire, à la lumière des connaissances géologiques acquises dans la première phase de cette étude, ce que représentait le niveau d'eau mesuré (Tab. 2). En d'autres termes, était-il représentatif des niveaux de l'aquifère calcaire exploité par les captages de Saffré, ou bien d'un autre aquifère contenu dans une autre formation géologique. Par ailleurs certains puits domestiques peu profonds peuvent n'intéresser que des formations superficielles constituées soit par des placages sableux plio-quadernaires, soit par des formations marneuses résultant d'une altération poussée des roches carbonatées sous-jacentes.

#### 4.2.2 - RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE HAUTES EAUX

La carte piézométrique a été établie à partir des 17 points de mesures qui sont représentatifs de l'aquifère des calcaires, sur un total de 27 points mesurés (Fig. 18).

Le cône de dépression piézométrique généré par les pompages AEP est bien visible, avec des cotes piézométriques inférieures à 22 m NGF dans le secteur de la Chutenaie où le puits de la ferme, intéressant une nappe perchée, n'est pas influencé (24,69 m NGF). Plus au Sud, en bordure de l'Isac, la nappe des calcaires est à une cote de 23,09 m NGF (Pz 2).

Une deuxième zone déprimée apparaît sur les ouvrages situés à proximité du Pas-Sicard, avec des cotes mesurées particulièrement basses à côté du pont d'Augrain : 22,83 m NGF en Pz 6. Plus en amont sur le Pas-Sicard, les cotes sont plus élevées d'environ 0,5 m. Ces cotes très basses s'expliquent par un soutirage exercé plus particulièrement dans cette zone par les pompages AEP. Il s'agit d'un secteur faillé où existent des pertes dans le ruisseau pour lesquelles des traçages ont prouvé la relation avec les captages.

Entre ces deux zones déprimées, s'intercale un dôme piézométrique au lieu-dit le Calvaire, avec une cote piézométrique atteignant 25,46 m NGF en Pz5. Cette mesure, comparativement aux précédentes, paraît anormalement élevée. Elle ne semble pas parfaitement représentative de la nappe des calcaires, car on devrait y observer une charge piézométrique intermédiaire entre celle d'Augrain (Pz 6) et celle du secteur des captages (Pz AEP). Ce piézomètre n'est peut-être pas assez profond (9,6 m) ou bien il est partiellement colmaté.

Dans les secteurs des Ormes et de la Mortrais, où les calcaires sont sub-affleurants, les charges piézométriques sont plus cohérentes, avec des valeurs comprises entre 24,31 et 24,64 m NGF. Dans le centre du bourg, on rencontre des cotes assez comparables à celles mesurées au Nord d'Augrain, autour de 23,20 m NGF. Cette zone semble associée à la zone déprimée créée par les captages AEP.

Les écoulements souterrains mis en évidence par cette campagne de mesures suggèrent des directions préférentielles d'écoulement dirigées NE-SW (du centre bourg vers les captages) et NW-SE (des Ormes et Augrain vers les captages).

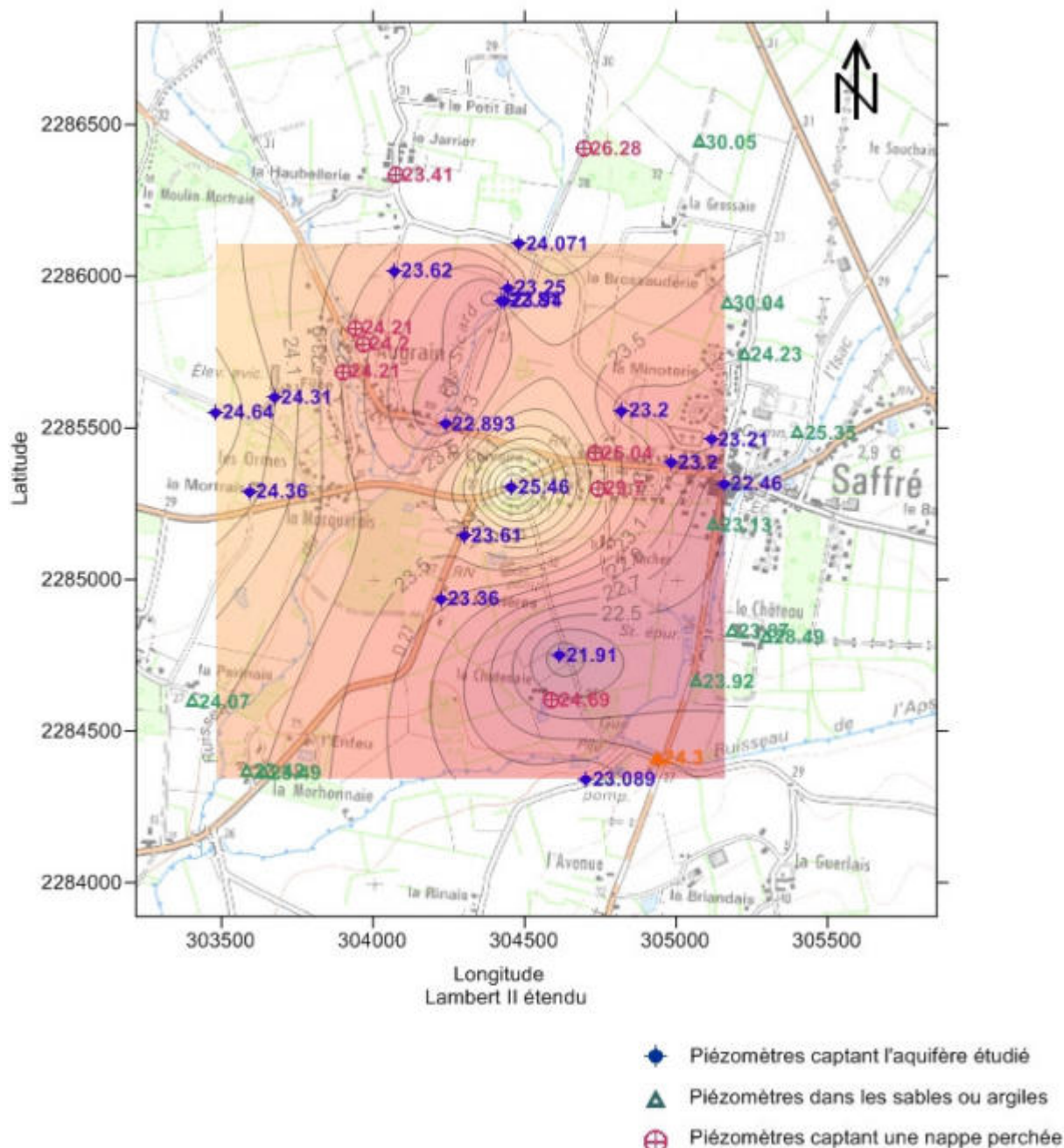


Figure 18 : Carte piézométrique de la nappe des calcaires oligocènes en hautes eaux (20/04/11)

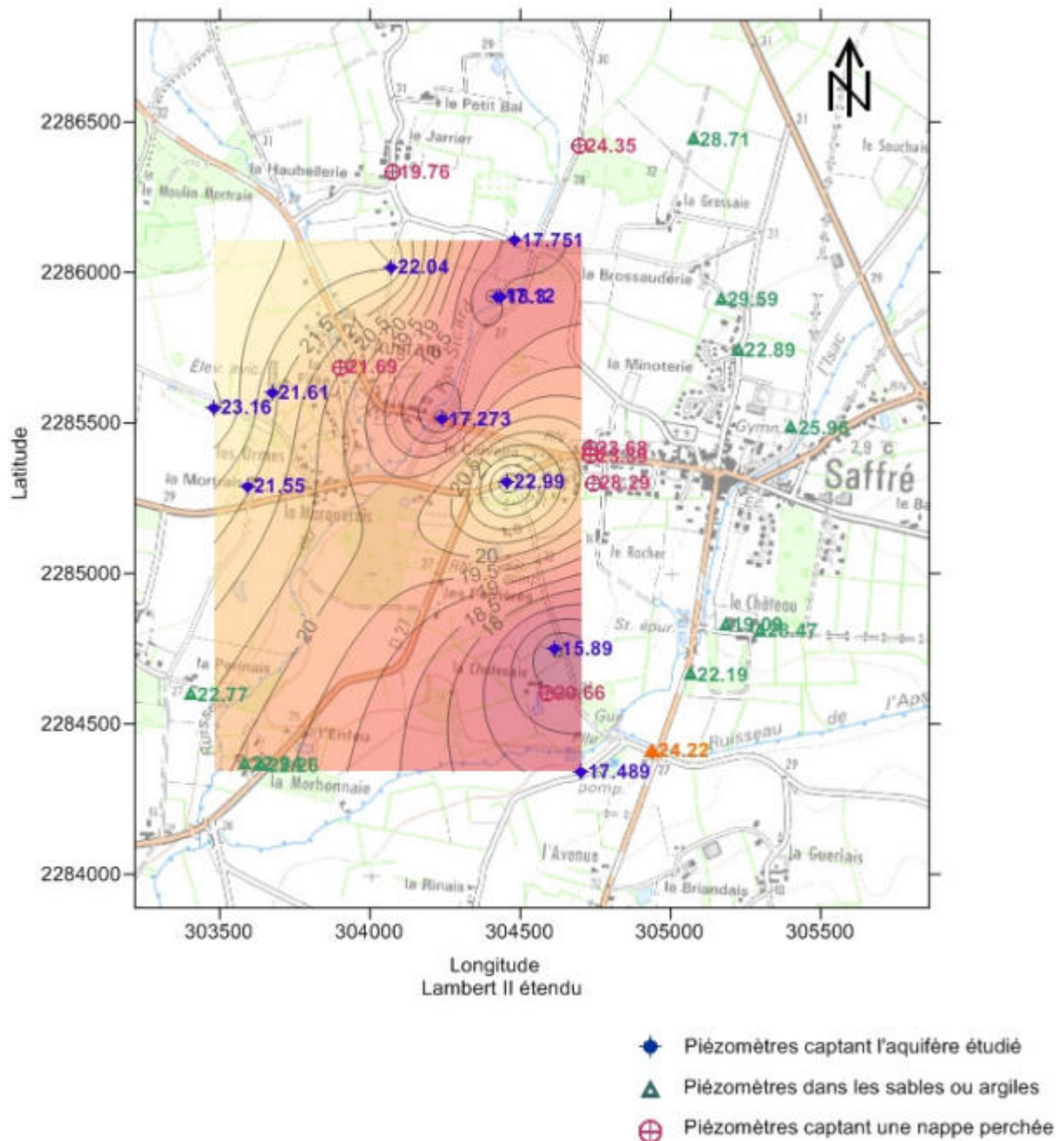


Figure 19 : Carte piézométrique de la nappe des calcaires oligocènes en basses eaux (28/09/11)

#### 4.2.3 - RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE BASSES EAUX

En basses eaux les observations font défaut dans le centre bourg. On retrouve cependant une géométrie du toit de la nappe assez proche de la configuration décrite en hautes eaux, avec deux dépressions piézométriques toujours séparées par un dôme intercalé (Fig. 19). La différence réside surtout dans le fait que les dépressions se sont creusées.

Les zones où la différence de niveaux de la nappe entre les périodes de hautes eaux et de basses eaux est la plus importante correspondent en effet aux zones de dépressions piézométriques. L'amplitude y est de l'ordre de 5,6 m (Tab. 2), alors qu'elle n'est que de 2,5 m à l'aplomb du dôme piézométrique (Pz 5) et de 2,7 à 2,8 m du côté des Ormes (Pz 22) et de la Mortrais (P10).

### 4.3 - ESSAI DE POMPAGE

#### 4.3.1 - DEROULEMENT DE L'ESSAI

Un essai de pompage a été réalisé du 11/10/11 au 14/10/11 sur les forages « F1 » et « F2 », utilisés par le SIAEP de la Région Nort-sur-Erdre pour la production d'eau potable. Cet essai a été mené afin de permettre une meilleure compréhension de l'impact des pompages journaliers sur l'aquifère des calcaires oligocènes exploité.

Pour permettre la réalisation de cet essai de pompage, l'exploitation des deux forages a été interrompue le 10/10/11 à 10h20 soit 24h avant le début de l'essai.

La durée totale de l'essai a été de 72h. Les pompages ont débutés à 10h19 le 11/10/11 sur le forage F1 avec un débit objectif de 150 m<sup>3</sup>/h et à 10h24 le même jour sur le forage F2 à un débit objectif de 200 m<sup>3</sup>/h, soit un débit total pompé envisagé de 350 m<sup>3</sup>/h pendant les 72h de l'essai.

A cette occasion, les modalités de refoulement des eaux traitées ont été modifiées par l'exploitant pour chercher à alimenter au maximum le réseau du SIAEP. En conséquence les débits de pompage sur les autres captages alimentant le réseau ont été réduits. Néanmoins ces dispositions n'ont pas permis de refouler tout le volume pompé au cours de l'essai sur le réseau, et une partie a dû être mise en décharge dans le lit du Pas-Sicard en aval du pont de la route de Blain (RD 33), soit en aval des principales zones de perte connues (Tab. 3).

**Tableau 3 : Récapitulatif des volumes d'eau pompés et refoulés (m3) - Données SAUR**

	11/10 après 10h	12/10	13/10	14/10 Jusqu'à 14h
Volume d'eau refoulée	4 728	8 288	8 268	4 834
Volume d'eau pompée en Forage 1	2 458	4 297	4 286	2 450
Volume d'eau pompée en Forage 2	2 543	4 471	4 461	2 534
Volume d'eau traitée mise en distribution	3 784	5 543	4 484	2 621
Volume eau rejetée dans le Pas-Sicard	944	2 745	3 784	2 213



Le volume rejeté dans le Pas-Sicard représente 35 % du volume total pompé. Ce volume déversé a permis la remise en eau du lit du ruisseau sur un linéaire de l'ordre de 250 à 300 m, en remplissant successivement des vasques plus ou moins profondes. Aucune perte n'a été décelée le long de ce linéaire en eau.

Les pompages ont été arrêtés à 10h20 le 14/10/11 et l'exploitation normale des forages a reprise vers 14h le même jour.

Sur la base des volumes relevés sur les compteurs par l'exploitant, le débit moyen de pompage était précisément de 381,9 m<sup>3</sup>/h, donc légèrement supérieur au débit de 350 m<sup>3</sup>/h envisagé au départ. Aucune manœuvre de vanne n'a été réalisée sur la colonne d'exhaure de chaque forage durant la durée de l'essai, une fois le réglage du débit calé au départ.

#### 4.3.2 - EXTENSION DE L'AIRE D'INFLUENCE DU POMPAGE

##### 4.3.2.1 - Mesures ponctuelles de niveau d'eau

Deux campagnes piézométriques limitées aux ouvrages supposés capter l'aquifère exploité ont été réalisées, l'une avant le début du pompage, soit 22 à 23 h après l'arrêt des pompes, et l'autre juste avant la fin du pompage. Elles avaient pour objectif de préciser l'extension du cône d'influence généré par cet essai de pompage à l'échelle du bassin de Saffré (Tab. 2).

Le pompage d'essai ayant été effectué en période d'étiage, plusieurs puits et piézomètres sondés étaient à sec. Quelques piézomètres ont néanmoins bien réagi. Le rabattement est ressenti assez loin du point de pompage, puisque l'on mesure un rabattement de 20 cm sur le Pz 9 qui se trouve à 1 300 m au Nord des captages. A l'inverse certains ouvrages pourtant proches des captages, tel que le puits de la Chutenaie, ne sont pas influencés par le pompage (Tab. 4). On retrouve ici la confirmation que tous les points d'eau ne captent pas la nappe des calcaires, d'autres intéressent des nappes perchées proches de la surface.

Le Pz 5 qui sert de piézomètre de référence est suivi à un pas de temps horaire. L'examen de la chronique d'évolution de son niveau au cours du pompage permet de déceler une incidence tenue du pompage, bien que le rabattement final observé ne soit que de 5 cm.

Tableau 4 : Rabattements mesurés sur les points d'eau au cours de l'essai de pompage

Points d'eau influencés par le pompage			Points d'eau non influencés par le pompage		
désignation	rabattement	Distance/F1.F2	désignation	rabattement	Distance/F1/F2
Pz AEP	2,63 m	82 m	P 9	0,04 m	200 m
Pz 2	0,54 m	495 m	P 8	0,06 m	500 m
Pz 5	0,05 m	500 m	Pz 11	0,045 m	1 250 m
Pz 6	0,47 m	775 m	Pz 8	0,05 m	1 600 m
Pz 24	0,41 m	1 100 m			
Pz 9	0,20 m	1 280 m			

Les autres points d'eau mesurés durant le pompage et non répertoriés dans le tableau ci-dessus montrent un rabattement inférieur ou égal à 3 cm, voire même une remontée des niveaux d'eau pendant le pompage (Tab. 2). Tous ces points non influencés intéressent donc un aquifère indépendant de l'aquifère calcaire concerné par le pompage.

#### 4.3.2.2 - Mesure en continu du niveau d'eau

Conjointement des sondes d'enregistrement du niveau d'eau ont été installées sur plusieurs piézomètres (Pz AEP, Pz 6, Pz 9, Pz 23 et P15) de façon à suivre, à un pas de temps d'une mesure toutes les 5 mn, l'évolution du niveau piézométrique en ces points durant toute la durée du pompage

Les enregistrements ainsi obtenus montrent très bien l'incidence du pompage sur les piézomètres Pz AEP, Pz 2 et Pz 6 (Fig. 20). On ne constate en revanche aucune perturbation due au pompage sur Pz 23 (piézomètre de chez Mr Jaunasse) ainsi que sur le puits du Château (P 15) dont les niveaux remontent régulièrement.

Ces graphiques permettent bien de confirmer que tous les points d'eau ne réagissent pas de la même façon au pompage. Ces éléments sont en cohérence avec l'interprétation géologique faite précédemment au niveau du bassin de Saffré :

- P 15 intéresse les argiles vertes constituant le substratum des calcaires ;
- Pz 23 est établi dans les marnes et argiles qui surmontent l'aquifère calcaire.

Ces deux ensembles géologiques renferment une nappe perchée indépendante de l'aquifère exploité par les captages AEP de Saffré.

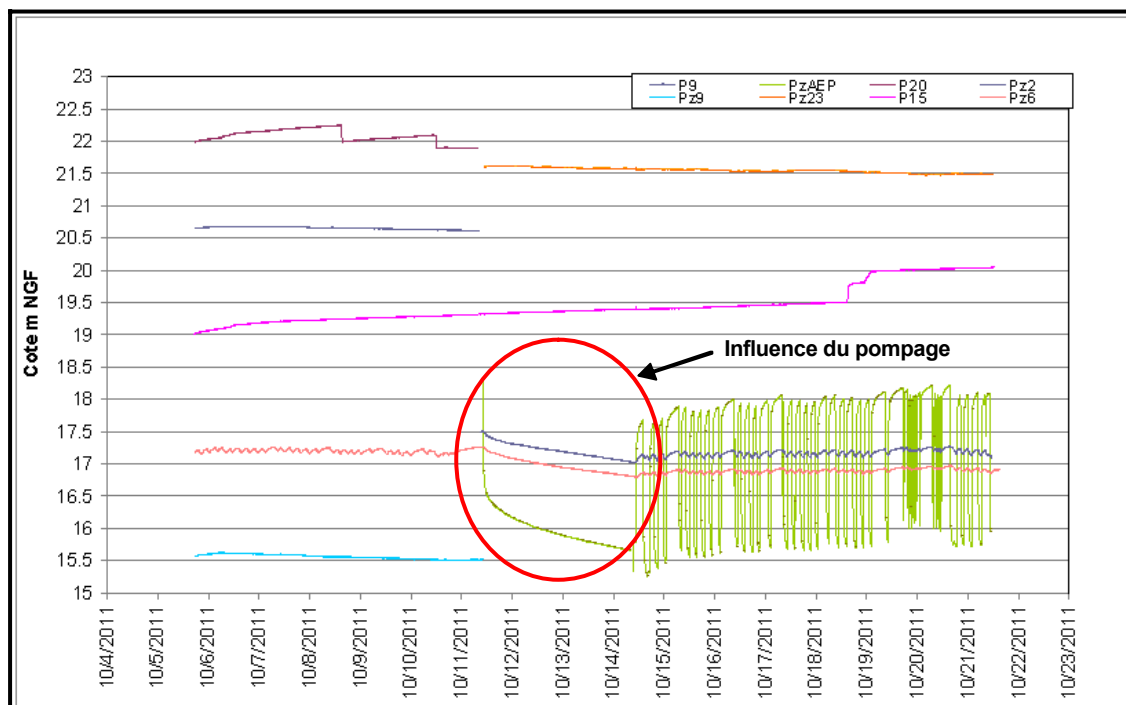


Figure 20 : Evolution des niveaux piézométriques en différents points au cours du pompage

### 4.3.3 - PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

Le graphe d'évolution des niveaux d'eau enregistrés en permanence sur F1 montre que le pompage provoque une baisse continue du niveau dynamique dans le forage. Le rabattement n'est pas stabilisé au bout des 72 h de pompage (Fig. 21). Ainsi sur F1 et F2, le rabattement maximal observé en fin de pompage atteignait 8,49 m en F1 et seulement 1,62 m sur F2 qui pourtant était exploité à un débit plus élevé.

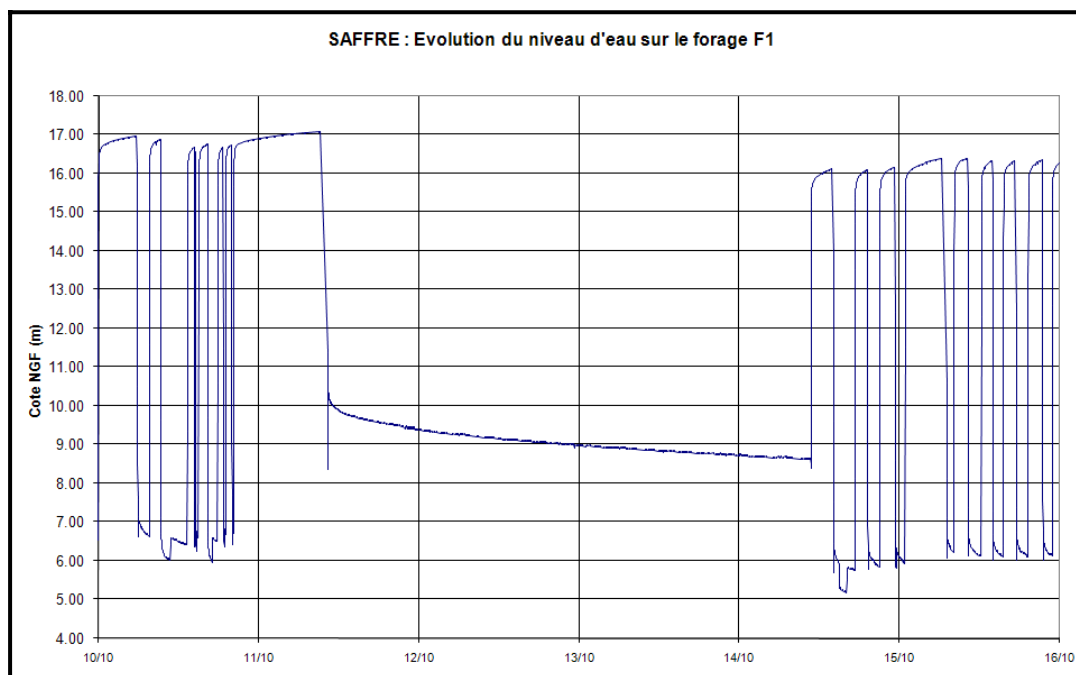


Figure 21 : Evolution de niveau piézométrique sur le captage F1 au cours du pompage

Les courbes de descente tant sur les captages F1 et F2 que sur les piézomètres les plus proches (Pz AEP, Pz 6 et Pz 2) ont tenté d'être interpréter par la méthode semi-logarithmique de Jacob. Les courbes obtenues présentent une allure peu commune, comme le montre l'exemple du piézomètre Pz2 (Fig. 22). Aucune droite de Jacob ne se distingue sur la courbe de descente qui est résolument convexe, malgré une durée de pompage continu suffisamment longue pour que l'approximation de Jacob soit vérifiée (72 h). En réalité c'est une multitude de droites, de pente de plus en plus forte, qu'il est possible d'ajuster sur la courbe descente. On constate une diminution progressive de la transmissivité de l'aquifère à mesure que les rabattements augmentent. Ainsi la transmissivité calculée qui est de  $9,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  en début de pompage, passe en fin de pompage à  $2,55 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  (Fig. 22).

Ce comportement pour le moins surprenant s'explique dès lors que l'on revient à la courbe de descente exprimée en données arithmétiques (Fig. 23). On constate alors que les rabattements évoluent de façon linéaire en fonction du temps de pompage. Ceci signifie que l'on pompe dans un réservoir non alimenté dont on prélève les réserves stockées en profondeur, comme si l'on prélevait dans une cuve. Ces baisses régulières du niveau d'eau sont respectivement sur Pz AEP, Pz 2 et Pz 6 de 1 cm en 1h29, 2h08 et 2h20.

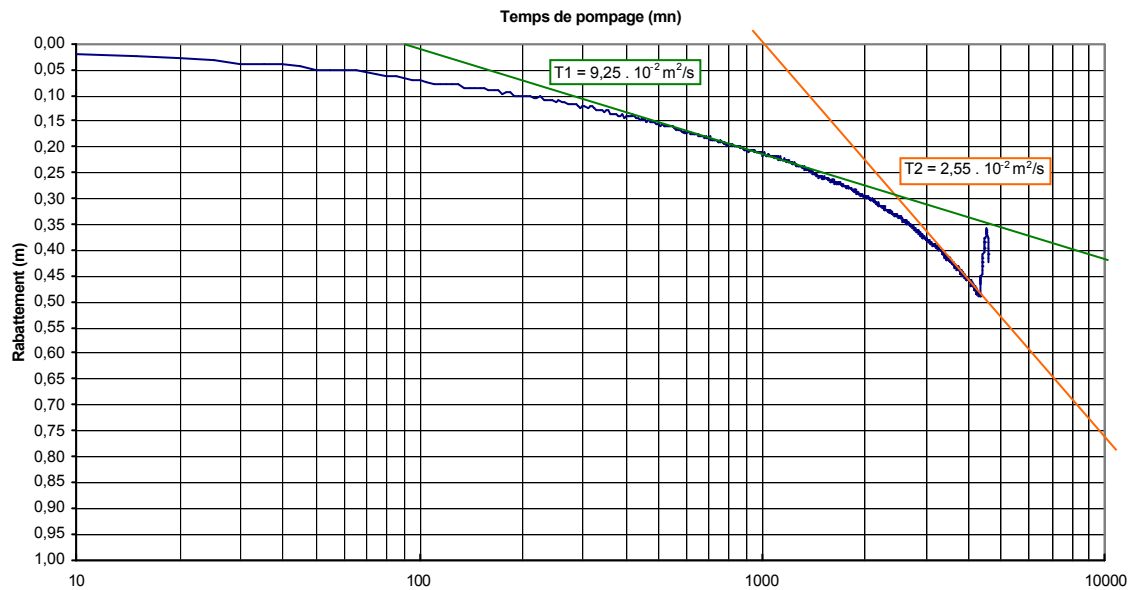


Figure 22 : Courbe de descente observée sur le piézomètre Pz2 au cours de l'essai de pompage d'octobre 2011 sur les captages de Saffré



Figure 23 : Evolution des niveaux piézométriques sur les piézomètres PZ AEP, Pz 2 et Pz 6 au cours de l'essai de pompage d'octobre 2011 sur les captages de Saffré

Pour la détermination des paramètres hydrodynamiques, on s'attachera donc à travailler sur la première partie de la courbe de descente qui correspond, avec des durées de pompage équivalentes, à celles des essais de pompage réalisés au moment de la création des captages. L'origine des distances au puits de pompage correspond au milieu de la distance séparant les captages F1 et F2.



Les paramètres hydrodynamiques déterminés à partir des différentes courbes de descente sont indiqués dans le tableau ci-après :

**Tableau 5 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère oligocène calculés à partir de l'essai de pompage de longue durée sur F1 et F2 du 11 au 14 octobre 2011**

Point d'observation	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Coefficient d'emmagasinement	Distance au point de pompage résultant (m)
Captage F1	3,41 . 10 <sup>-2</sup>		
Captage F2	3,69 . 10 <sup>-2</sup>		
Pz AEP	3,45 . 10 <sup>-2</sup>	6,9 . 10 <sup>-3</sup>	82
Pz 2	9,25 . 10 <sup>-2</sup>	4,6 . 10 <sup>-3</sup>	495
Pz 6	9,96 . 10 <sup>-2</sup>	2,5 . 10 <sup>-3</sup>	775
<b>Valeur moyenne</b>	<b>5,95 . 10<sup>-2</sup></b>	<b>4,7 . 10<sup>-3</sup></b>	

On constate que toutes les valeurs obtenues restent du même ordre de grandeur, avec des valeurs de transmissivité très bonnes. Celles-ci apparaissent cependant près de 3 fois plus élevées sur les piézomètres Pz2 et Pz6 qui sont situés dans des zones où les phénomènes de karstification sont les plus développés, qu'aux abords des captages où l'aquifère est captif sous un recouvrement marneux de plusieurs dizaines de mètres.

Globalement, les coefficients d'emmagasinement sont assez faibles, sans pour autant traduire un comportement d'aquifère véritablement captif. Il traduit le fait que les captages sont implantés non loin de la faille qui fait remonter vers l'Ouest et le Sud-Ouest les formations calcaires à proximité de la surface.

#### 4.3.4 - SIMULATION DE POMPAGES ET INTERPRETATION

##### 4.3.4.1 - Appréciation de l'aire d'influence du pompage de 72 h

La représentation du cône de rabattement induit par le pompage à l'aide des différents paramètres hydrodynamiques issus de l'interprétation des courbes de descente a été réalisée par calcul numérique. Il s'avère que l'ajustement le meilleur, correspondant avec les valeurs de rabattement réellement mesurés à l'issue du pompage de 72 h (Tab. 4), est obtenu avec le jeu de paramètres hydrodynamiques suivant (Fig. 24) :

- transmissivité moyenne aux abords des captages : **T = 3,5 . 10<sup>2</sup> m<sup>2</sup>/s**
- coefficient d'emmagasinement moyen : **S = 4,7 . 10<sup>-3</sup>**

Le cône de rabattement ainsi obtenu permet d'estimer que l'impact de ce pompage s'étend sur un rayon théorique de l'ordre de 2 000 m autour du pompage pour cet essai. Une carte de l'extension de ce cône théorique d'influence a ainsi pu être établie en tenant compte du contexte géologique du bassin de Saffré (Fig. 25).

#### 4.3.4.2 - Aire d'influence des pompages AEP journaliers

Les pompages journaliers en régime d'exploitation normale des captages AEP de Saffré se font à un débit de 450 m<sup>3</sup>/h sur une durée moyenne de 16 h par jour, par tranches de pompage consécutives de quelques heures chacune. En faisant l'hypothèse d'un pompage continu de 16 h à ce débit, il est possible de simuler le cône d'influence maximal de ces pompages journaliers, de préciser l'ampleur des rabattements induits et l'aire d'influence théorique de ces prélèvements (Fig. 24 et 25).

C'est ainsi que l'on constate que les pompages AEP journaliers exercent leur influence dans un rayon de 1 000 m autour des captages. L'évolution de ces rabattements calculés autour des captages est la suivante :

- à 1 000m : 0,00 m
- à 750 m : 0,15 m
- à 500 m : 0,38 m
- à 250 m : 0,78 m
- à 100 m : 1,30 m

Il s'agit ici de valeurs maximales car dans la réalité les pompages ne se font pas de façon continue sur 16 h comme le supposent les calculs. Ces calculs s'adressent aussi à une période de basses eaux, où la nappe n'est pas réalimentée par les pertes se produisant dans les cours d'eau. Les suivis piézométriques continus mis en place sur certains piézomètres prouvent en effet que l'influence des pompages journaliers est beaucoup plus faible (Fig.20 et 34).

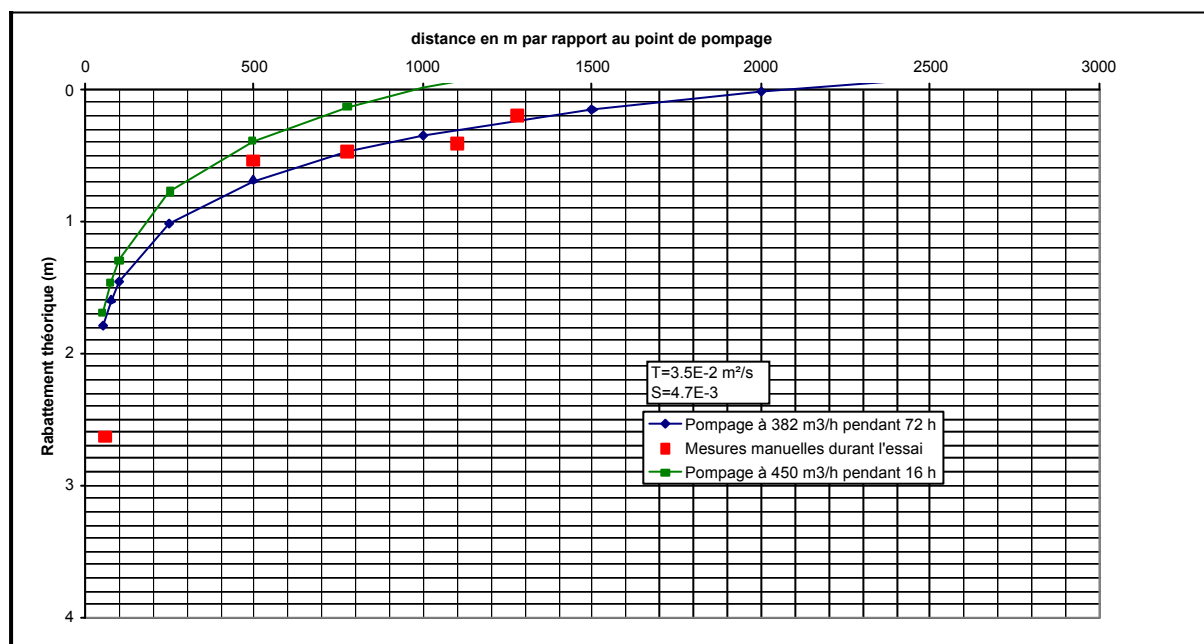


Figure 24 : Evolution du cône théorique de rabattement induit par les captages de Saffré dans deux configurations de pompage : essai de pompage d'octobre 2011 et pompages journaliers

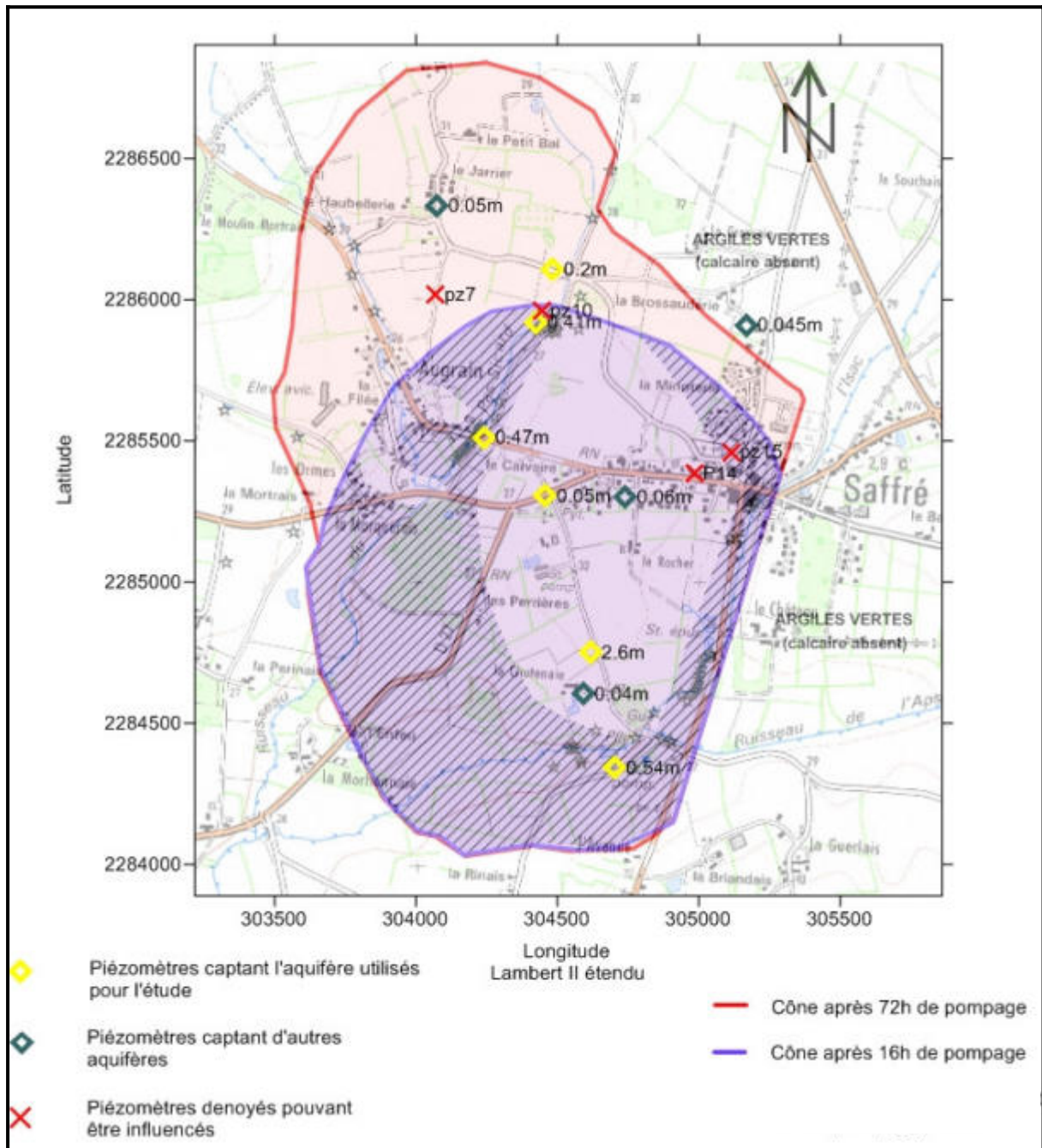


Figure 25 : Evolution du cône théorique de rabattement induit par les captages de Saffré dans deux configurations de pompage : essai de pompage d'octobre 2011 et pompages journaliers

## 4.4 - CAMPAGNES DE JAUGEAGES

### 4.4.1 - MOYENS MIS EN OEUVRE

Au cours de l'étude, plusieurs campagnes de jaugeages ont été réalisées sur les cours d'eau traversant le bassin de Saffré (Isac, Apsiguais, Pas-Sicard et Ruisseau de Puceul) pour mieux comprendre le régime de ces cours d'eau ; mais surtout pour caractériser l'importance des différentes zones de pertes et mettre en évidence d'éventuelles résurgences dans le lit même des cours d'eau.

Ainsi des jaugeages sériés ont été réalisés à l'aide d'un micromoulinet (OTT - C2) en différents points des cours d'eau :

- en 5 ou 6 points sur l'Isac : à l'entrée dans le bassin (amont Pont RD 121), à l'entrée du centre bourg (aval pont RD33), en sortie du centre bourg (amont pont du Château), amont du gué et aval de la zone d'effondrements de la Chutenaie. Lors de la première campagne de jaugeages, une mesure a aussi été effectuée en aval de la confluence avec le ruisseau du Pas-Sicard, juste en amont du pont de la route reliant l'Eturmel à la Noë Péguille ;
- en 3 ou 4 points sur le Pas-Sicard : à l'entrée dans le bassin (amont Pz 9), en amont d'Augrain (aval Pz 24 et P 5), aval confluent avec le ruisseau de Puceul. Lors de la première campagne, une mesure a aussi été réalisée juste en amont du confluent avec l'Isac ;
- en deux points sur le ruisseau de Puceul : à l'entrée dans le bassin (La Haubellerie), en amont du confluent avec le Pas-Sicard ;
- sur l'Apsiguais en 1 ou 2 points : en amont du pont de la RD39 ou en amont du confluent avec l'Isac.

Les jaugeages n'ont pas porté sur toutes ces stations à chaque campagne de mesure. Au total 7 campagnes de jaugeages ont été réalisées entre le 23 mars 2011 et le 30 mars 2012. La première campagne des 23 et 24 mars qui est la plus exhaustive a porté sur 12 stations de mesures. Les 6 autres campagnes concernaient entre 2 et 9 stations de mesures. Les campagnes ne comportant que 2 stations étaient destinées à connaître le débit total des pertes du Pas-Sicard qui absorbaient l'ensemble des écoulements mesurés plus en amont sur le Pas-Sicard et le Ruisseau de Puceul. Avec la méthode de jaugeage utilisée, les débits sont connus avec une incertitude de l'ordre de 10 %. Ainsi, il convient de tenir compte de cette incertitude pour apprécier si une différence de débit constatée entre deux jaugeages consécutifs sur un même cours d'eau est ou non significative.

### 4.4.2 - RESULTATS ET INTERPRETATION

L'ensemble des résultats de ces jaugeages est donné [en annexe 4](#). Une synthèse est fournie dans le tableau ci-après ([Tab. 6](#)). Elle concerne une évaluation des zones de perte d'écoulement tant dans le Pas-Sicard que dans l'Isac, et la mise en évidence d'une zone temporaire d'émergence dans l'Isac.

**Tableau 6 : Synthèse des résultats des différentes campagnes de jaugeages effectuées sur les cours d'eau recoupant le bassin de Saffré**

Campagne de jaugeages		23 et 24/03/11	13/01/12	20/01/12	17/02/12	24/02/12	13/03/12	30/03/12
Débit d'alimentation amont (m3/h)	Puceul et Pas- Sicard	164,5	> 82,7			194,4	100,7	120,4
	Isac et Apsiguais	238,7		> 264,3	460,4	> 367,2	183,2	127,35
Pertes en amont du gué (m3/h) (% de débit amont)	Puceul et Pas- Sicard	126,0 (77 %)	> 82,7 (100 %)			194,4 (100 %)	100,7 (100 %)	120,4 (100%)
	Isac et Apsiguais	> 53,3 (> 29 %)		> 113,7 (> 40 %)	> 75,7 (> 17 %)	> 149,2 (> 41 %)	> 95,0 (> 52 %)	>61,3 (>48%)
Gain dans l'Isac en aval du gué (m3/h) (% débit au gué)		< 108,4		41,5 (24 %)	70,1 (18 %)	98,9 (45 %)	217,8 (147 %)	394,3 (445 %)
Débit aval (m3/h)	Puceul et Pas- Sicard	< 39,6	0			0	0	0
	Isac et Apsiguais	< 291,6		215,5	454,7	316,8	306,0	360,4

#### 4.4.2.1 - Ecoulements dans le ruisseau de Puceul

Des pertes significatives ont été constatées sur le ruisseau de Puceul lors de la première campagne de jaugeages. Elles représenteraient 40 % du débit amont du ruisseau. En l'absence de mesures intermédiaires entre l'amont et le confluent, il n'a pas été possible de localiser le tronçon sur lequel se produisaient ces pertes. Néanmoins d'après les données bibliographiques, ces pertes se situeraient préférentiellement en amont du bourg d'Augrain. Sur ce tronçon amont, plusieurs effondrements ont d'ailleurs été signalés dans le lit du ruisseau ou à ses abords immédiats.

Par ailleurs, les données géologiques indiquent la présence en surface de terrains marneux plutôt imperméables au droit du bourg d'Augrain. Ceci est confirmé par l'examen des déblais de la tranchée faite pour l'assainissement sur la DR 39 qui étaient constitués par des marnes blanchâtres. Enfin, l'existence d'un étang au milieu du bourg d'Augrain qui reste en eau pratiquement tout l'été suggère aussi la présence en profondeur de terrains imperméables.

Un écoulement de l'ordre de 40 m<sup>3</sup>/h mesuré en amont du confluent avec l'Isac n'est pas suffisant pour passer au dessus du radier du pont de la RD 33. En fait, les écoulements remontent à contre-courant le cours de l'Isac en direction du pont de la RD 39 pour alimenter une perte implantée dans le lit du cours d'eau.

#### 4.4.2.2 - Ecoulements dans le Pas-Sicard

L'écoulement dans le Pas-Sicard était continu lors de la première campagne de jaugeage les 23 et 24 mars 2011. Entre l'amont et l'aval du cours d'eau on constate une perte des  $\frac{3}{4}$  du débit d'alimentation amont (Pas-Sicard + Ruisseau de Puceul). Au cours des 4 autres campagnes concernant le Pas-Sicard, l'intégralité du débit d'alimentation amont se perdait avant que l'écoulement ne franchisse le pont de la RD 33. Le plus fort débit de perte mesuré atteignait 194 m<sup>3</sup>/h (campagne du 24/02/12).

Les zones de pertes apparaissent en aval du Pz 9, dans un secteur où de nombreux effondrements ont été signalés. Les pertes les plus en aval reconnues sont situées entre les ponts des RD 33 et 39. Il n'est pas rare que les écoulements du ruisseau de Puceul se perdent en intégralité entre ces deux ponts et que ceux du Pas-Sicard disparaissent totalement dans des pertes situées en amont du pont de la RD 39.

Aucune zone de perte significative n'a été mise en évidence entre l'aval du pont de la RD 33 et le confluent du Pas-Sicard avec l'Isac. La partie en aval du pont est alimentée régulièrement par le rejet des eaux de lavage issues de l'usine de traitement des eaux des Perrières. Ces apports maintiennent en eau des parties surcreusées du lit sur quelques centaines de mètres, mais en été le cours du Pas-Sicard est totalement sec à moins de 400 m en aval du pont.

Lors de l'essai de pompage d'octobre 2011, les surplus d'eau pompée que le réseau ne pouvait absorber étaient déchargés en aval de ce même pont. Ces rejets ont remis en eau des vasques en aval, mais n'ont pas permis une reprise des écoulements (cf. § 4.3.1).

Signalons que le tarissement du Pas-Sicard et du ruisseau de Puceul en été résulte d'un défaut d'alimentation à partir de leur cours amont. En effet leur débit d'étiage n'est pas de soutenu en raison de l'absence de ressource en eau souterraine significative dans les terrains du socle qui constituent la partie amont de leur bassin versant.

#### 4.4.2.3 - Ecoulements dans l'Apsiguais

L'Apsiguais est le seul cours d'eau recoupant le bassin de Saffré qui présente un écoulement permanent jusqu'au niveau du pont de la RD39. Il repose en effet sur des argiles vertes imperméables empêchant ainsi les pertes en amont du pont. De plus, son débit est soutenu en été par les rejets de la station d'épuration du bourg de Saffré.

Néanmoins des jaugeages, réalisés à l'amont de ce pont et à l'aval et en amont du confluent avec l'Isac, ont permis de mettre une évidence une zone de perte sur le tronçon situé en aval du pont de la RD39. Les pertes identifiées à ce niveau représentaient lors de la campagne du 13/03/12 environ 40% du débit amont, évalué à 70 m<sup>3</sup>/h.

Sur ce tronçon proche du confluent avec l'Isac, un effondrement a été par le passé observé au fond du lit de l'Apsiguais.

#### 4.4.2.4 - Ecoulements dans l'Isac

Lors des premiers jaugeages réalisés en mars 2011 sur le tronçon aval de l'Isac compris entre son confluent avec le Pas-Sicard et le pont d'Eturmel - Noë Pégueille, aucune modification significative du débit n'a été constatée.



Sur ce tronçon, le débit mesuré en aval correspond à la somme des débits mesurés sur le Pas-Sicard et l'Isac à l'amont immédiat de leur confluent. En conséquence, ce tronçon aval n'a plus été suivi par la suite.

Les débits de l'Isac n'ont donc été suivis ensuite qu'entre le bourg (au niveau du pont de la RD33) et l'aval de la zone d'effondrements de la Chutenaie, soit en aval de la zone où les historiens situaient le fameux « gouffre de la Chutenaie ». Néanmoins en période d'étiage, il a été constaté que le débit de l'Isac en aval de la RD 121 était nul. Aucun écoulement ne franchissait le radier du pont, faute d'un débit d'alimentation amont suffisant.

Entre le bourg et le gué, des pertes importantes ont été constatées. Elles peuvent représenter jusqu'à 50 % du débit d'alimentation amont fourni par l'Isac et l'Apsiguais. L'essentiel de ces pertes se produisent entre le pont du Château et le gué, mais des pertes diffuses peuvent aussi exister au niveau du bourg. Lors de la première campagne de mesures en mars 2011, l'Isac perdait 29 % de son débit amont entre la RD 121 et le pont du Château. Des jaugeages réalisés le 13/03/12 entre l'aval du pont du centre bourg et le pont du Château n'ont pas mis en évidence de perte significative de débit, ce qui tendrait à indiquer que ces pertes diffuses se produisent au niveau du bourg, voire même en amont du pont. Des nouveaux jaugeages sériés focalisés sur la traversée du bourg seraient nécessaires pour vérifier ce point.

En aval des effondrements de la Chutenaie, on observe une augmentation du débit de l'Isac par rapport à celui mesuré au niveau du gué, soit en aval de la zone de pertes précédemment signalée. Cet accroissement de débit représente entre 2,5 à 4,5 fois le débit mesuré en aval immédiat du gué (Tab. 6). Par rapport au débit total d'alimentation (Isac + Apsiguais) ce débit mesuré en aval peut représenter une valeur bien supérieure. Sur les deux dernières campagnes de jaugeages, il correspond à 1,7 et 2,8 fois le débit d'alimentation.

Ces mesures mettent clairement en évidence qu'il existe bien au droit de la zone où existait le « gouffre de la Chutenaie » une zone d'émergence dans le lit même de l'Isac. C'est la réponse de la nature au comblement de cet ancien gouffre qui n'était rien d'autre que la zone de résurgence des pertes connues plus en amont sur les cours de l'Isac et de l'Apsiguais. Par ailleurs, le fait que le débit d'émergence est à certaines époques bien supérieur au débit amont d'alimentation de l'Isac prouve que cette zone d'émergence est également alimentée par les pertes du Pas-Sicard et du ruisseau de Puceul.

#### 4.4.3 - CONCLUSION

Ces campagnes de jaugeages ont permis de mieux comprendre les relations entre cours d'eau de surface et eaux souterraines. Ainsi les zones préférentielles où sont localisées les pertes sont assez clairement identifiées (Fig. 26) :

- sur le ruisseau de Puceul : en amont du village d'Augrain ;
- sur le Pas-Sicard : au Nord d'Augrain en amont du pont de la RD 39, puis entre ce pont et celui de la RD 33. Des pertes diffuses juste en aval de ce dernier pont sont probables, mais n'ont pas été mises en évidence par les jaugeages effectués dans le cadre de cette étude ;
- sur l'Apsiguais : entre le pont de la RD 39 et son confluent avec l'Isac ;

- sur l'Isac, entre le bourg de Saffré et le gué, avec une localisation préférentielle en aval du pont du Château. Des jaugeages plus rapprochés seraient à envisager entre le bourg et le pont du Château pour mieux cerner la position d'éventuelles zones de pertes diffuses.

Il n'a pas été constaté de zones de résurgence dans le lit du Pas-Sicard en amont de son confluent avec l'Isac. La seule zone de résurgence mise en évidence est située dans le lit de l'Isac en aval du gué, à la hauteur de l'ancien « gouffre de la Chutenaie ». Cette zone est matérialisée par au moins deux entonnoirs assez amples établis dans le lit même de l'Isac, à l'extrémité sud des zones dites de pertes qui avaient été remblayées au début des années 1990. Ceux-ci sont parfaitement visibles en été lorsqu'il n'y a plus d'écoulement dans la rivière (Fig. 27, annexe 3).

Cette zone d'émergence temporaire constitue l'unique exutoire connu du système karstique développé au sein des calcaires oligocènes et alimenté en amont par les pertes des différents cours d'eau.

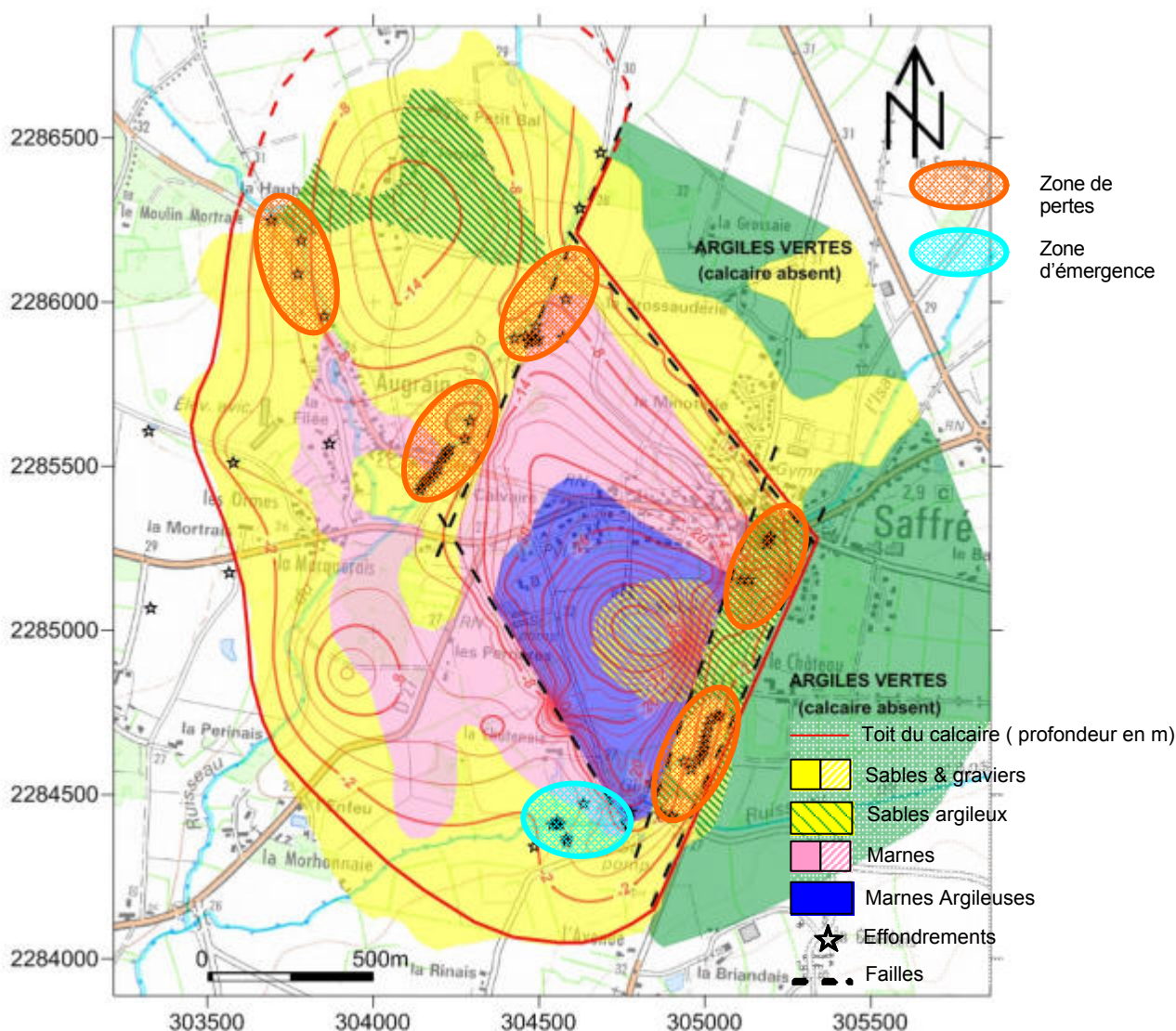




Figure 27 : Exemple de zone d'émergence temporaire dans le lit de l'Isac

#### 4.5 - NIVELLEMENT DU FOND DU LIT DES COURS D'EAU

Pour connaître la pente générale des cours d'eau et comparer leur cote relative, un nivellement du fond de leur lit a été réalisé depuis l'entrée des ruisseaux dans le bassin aquifère en amont, jusqu'au confluent de l'Isac et du Pas-Sicard, avec un pas d'acquisition de un point de nivellement tous les 100 mètres environ.

Ainsi les mesures ont été réalisées pour chacun des quatre cours d'eau sur les tronçons suivants :

- Isac : du pont de la RD 121 à son confluent avec le Pas Sicard ;
- Pas Sicard : du Pz 19 en amont, à son confluent avec l'Isac en aval ;
- Ruisseau de Puceul : du pont de la Haubellerie à son confluent avec le Pas Sicard ;
- Apsiguais : du pont de la RD 121 à son confluent avec l'Isac.

Afin de comparer entre elles les cotes du lit de ces différents cours d'eau, les profils en long ont été reportées sur un même graphique en remontant le ruisseau à partir de son confluent, le point de départ étant le confluent Isac / Pas-Sicard (Fig. 28).

Sur ce graphique on vérifie que les pertes reconnues sur le Pas-Sicard sont bien situées à une altitude supérieure à la zone d'émergence identifiée sur le cours de l'Isac. D'ailleurs d'une manière générale, le lit du Pas-Sicard est à une cote altimétrique supérieure à celles du lit de l'Isac. L'Isac est donc bien en position de drainer les pertes du Pas-Sicard.



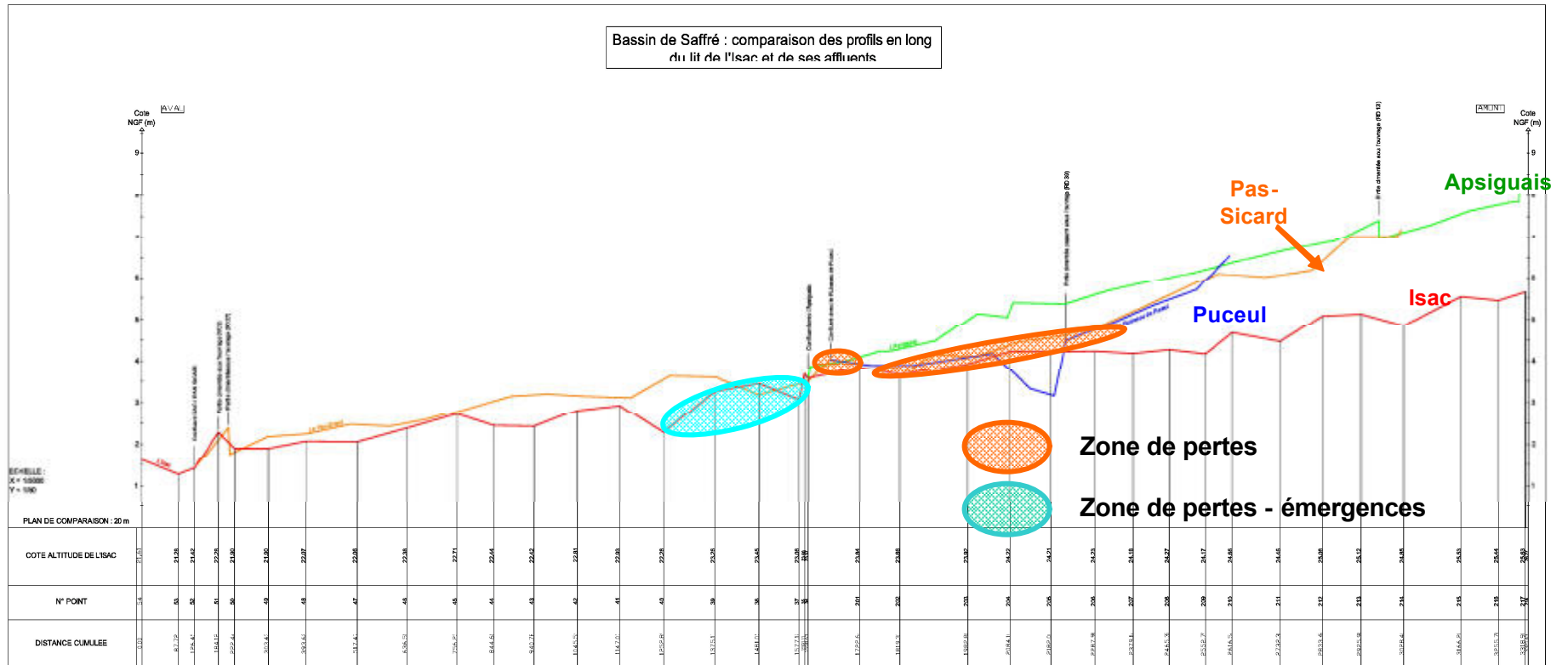


Figure 28 : Profils en long des cours d'eau traversant de bassin de Saffré et localisation des zones de pertes et d'émergence mise en évidence par les jaugeages

On remarque aussi que le cours de l'Apsiguis est encore plus perché au dessus du cours de l'Isac. Ainsi topographiquement, l'Isac aurait la possibilité de pouvoir soutirer et drainer vers lui les écoulements de l'Apsiguis. Ce phénomène ne se produit que sur les 150 m derniers mètres de l'Apsiguis car plus en amont les écoulements se font sur des argiles imperméables.

## 4.6 - SUIVI DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

### 4.6.1 - INTRODUCTION

Pour mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique de la nappe des calcaires oligocènes exploitée par les deux captages AEP de Saffré, et appréhender l'influence que peuvent avoir les pompages sur la piézométrie de cette nappe, un suivi des niveaux d'eau sur différents points a été mis en place. Ce suivi a été réalisé de deux façons :

- d'une part un suivi en continu des variations piézométriques au moyen de la mise en place de sondes de mesures (type Diver ou micro-Diver) immergées dans divers puits ou piézomètres, avec un pas d'acquisition d'une mesure toutes les 5 mn.
- d'autre part un suivi hebdomadaire par une mesure ponctuelle du niveau d'eau sur une trentaine de points d'eau (puits, piézomètres, cours d'eau).

Le suivi en continu avait pour but de vérifier si les points instrumentés étaient influencés directement par les pompages AEP. Il s'agissait alors de vérifier si les créneaux de pompage AEP étaient ou non perceptibles sur les points d'eau mesurés, et de mieux comprendre les relations hydrauliques qui pouvaient exister entre la nappe et les cours d'eau de l'Isac et du Pas-Sicard.

Le suivi hebdomadaire était destiné à mettre en évidence les fluctuations saisonnières de la nappe des calcaires et de voir si ces mêmes variations étaient constatées sur d'autres piézomètres captant des formations lithologiques différentes de celles des calcaires marins oligocènes.

### 4.6.2 - SUIVI EN CONTINU DES NIVEAUX D'EAU

Au cours de la période d'étude, 19 ouvrages ont fait l'objet d'un suivi simultané ou successif d'une durée variant entre une semaine et 11 mois (Fig. 29, Tab. 7). Les résultats de ces suivis sont présentés sur des graphes ci-après. Sur ces graphes sont aussi reportées les mesures ponctuelles réalisées lors des suivis hebdomadaires.

Après s'être assuré que l'ancien captage AEP de la Chutenaie (Pz 2), aujourd'hui désaffecté, enregistrait les différents créneaux de pompage des deux forages AEP (F1 et F2) actuellement en exploitation (Fig. 35 et 36), cet ouvrage a été retenu comme étant l'ouvrage de référence des fluctuations de la nappe des calcaires oligocènes soumises à l'influence des pompages AEP. C'est donc par rapport aux fluctuations observées sur cet ouvrage que seront comparées les fluctuations enregistrées sur les autres points d'eau.



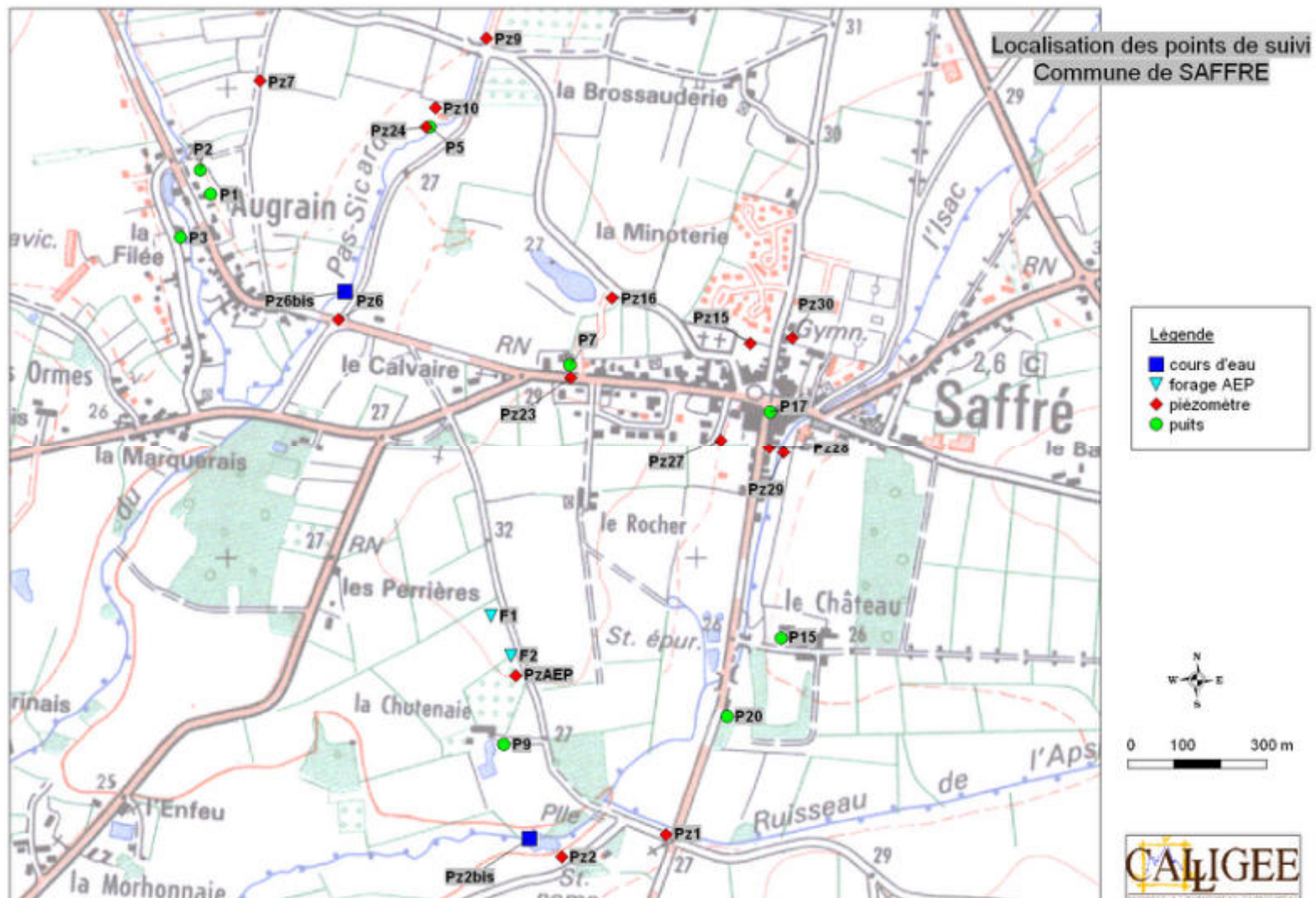


Figure 29 : Localisation des points de suivi

Tableau 7 : Récapitulatif des périodes de suivi en continu des points d'eau entre octobre 2011 et septembre 2012

Tournée	Date installation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Date vidange	05/10/2011	11/10/2011	21/10/2011	25/11/2011	16/12/2011	13/01/2012	10/02/2012	02/03/2012	06/04/2012	04/05/2012	25/05/2012	05/06/2012	15/06/2012	06/07/2012	25/07/2012	09/08/2012	24/08/2012	12/09/2012	
P9	Chutenaie																		
Pz9	Nord Augrain																		
Pz20	Sud Château																		
P15	Château																		
Pz6	Augrain																		
Pz AEP	Champ captant																		
Pz2	Ancien captage																		
Pz23	Mr Jaunasse																		
Pz2bis	Isac aval																		
Pz6bis	Pas Sicard Augrain																		
Pz27	Parking Bourg																		
Pz28	Ecole St Joseph																		
Pz29	Jardin public																		
Pz30	Stade																		
Pz7	NW Augrain																		
Pz15	Cimetière																		
P17	Tudoret (Bourg)																		
Pz16	Minoterie																		
Pz10	Maison en ruine																		

#### 4.6.2.1 - Evolution de la nappe des calcaires marins oligocènes

C'est ainsi que l'on constate que le piézomètre d'Augrain (Pz 6) présente un comportement similaire à celui de Pz 2. Il est donc lui aussi représentatif des fluctuations de niveau d'eau de la nappe des calcaires soumises à l'influence des prélèvements AEP (Fig. 30). Sur ce graphe on peut dissocier plusieurs périodes :

Sur ce graphe on peut dissocier plusieurs périodes :

- la fin des basses eaux 2011, avec des niveaux de la nappe s'établissant à des cotes voisines de 17 m NGF. A cette période, les cours d'eau de l'Isac et du Pas-Sicard sont asséchés depuis plusieurs mois ;
- à la reprise de la recharge début décembre les niveaux remontent d'environ 1 m en une dizaine de jours, puis ils remontent de 6 m en seulement 3 jours. C'est l'importante crue inondant tous les terrains le 12 décembre qui est à l'origine de cette remontée brutale ;
- les niveaux de la nappe se maintiennent ensuite à des cotes le plus souvent comprises entre 23,1 et 23,5 m NGF. Durant toute cette période un écoulement permanent subsiste dans les ruisseaux du Pas-Sicard et de l'Isac ;
- par la suite on assiste à l'assèchement progressif des cours d'eau qui devient définitif vers le 15 juin. Le niveau de la nappe baisse alors régulièrement pour passer d'une cote de l'ordre de 23 m NGF vers le 20 juin, à une cote de 19 m NGF à la mi-septembre. Ainsi au cours de l'été la nappe a baissé d'environ 4 m, soit en moyenne une baisse de 4,7 cm par jour.

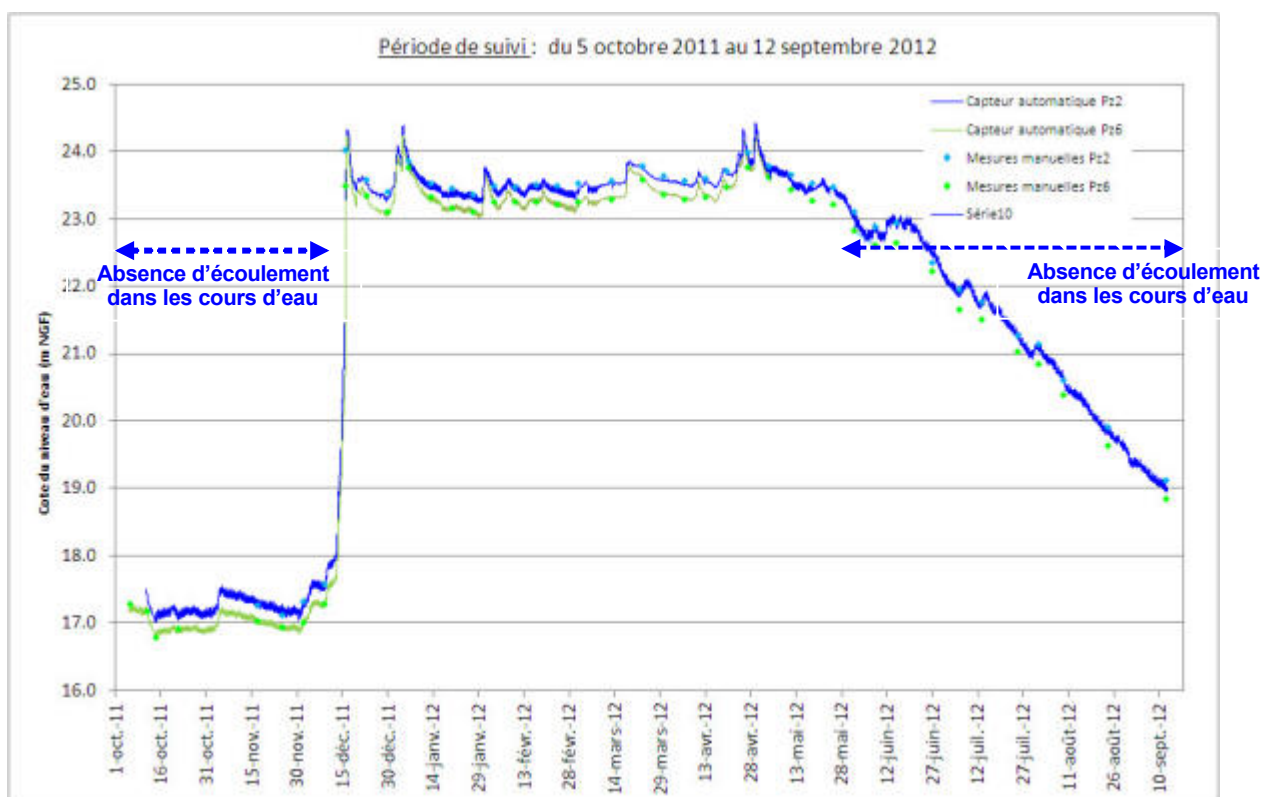


Figure 30 : Evolution des niveaux piézométriques en Pz 2 et Pz 6

#### 4.6.2.2 - Evolution de la nappe des calcaires et du niveau des cours d'eau

Pour préciser les relations hydrauliques entre la nappe et les cours d'eau de l'Isac et du Pas-Sicard, un suivi synchrone des niveaux à la fois dans les ruisseaux et dans la nappe a été réalisé. C'est ainsi qu'en première approche, les fluctuations de niveau de la nappe suivent fidèlement les fluctuations des niveaux des cours d'eau : chaque crue se traduit immédiatement par une crue dans la nappe (Fig. 31 et 32). C'est la preuve qu'une forte relation hydraulique existe entre la nappe et les cours d'eau de l'Isac à la Chutenaie et du Pas-Sicard à Augrain.

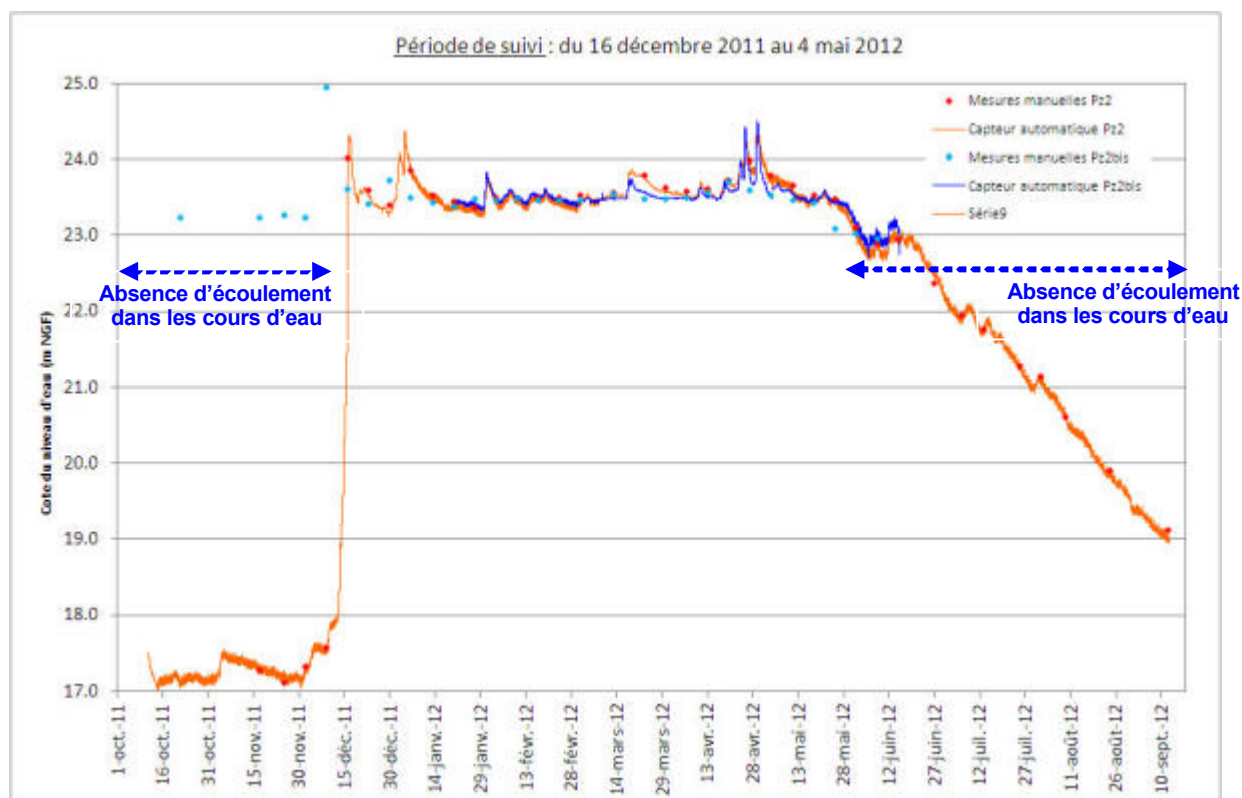
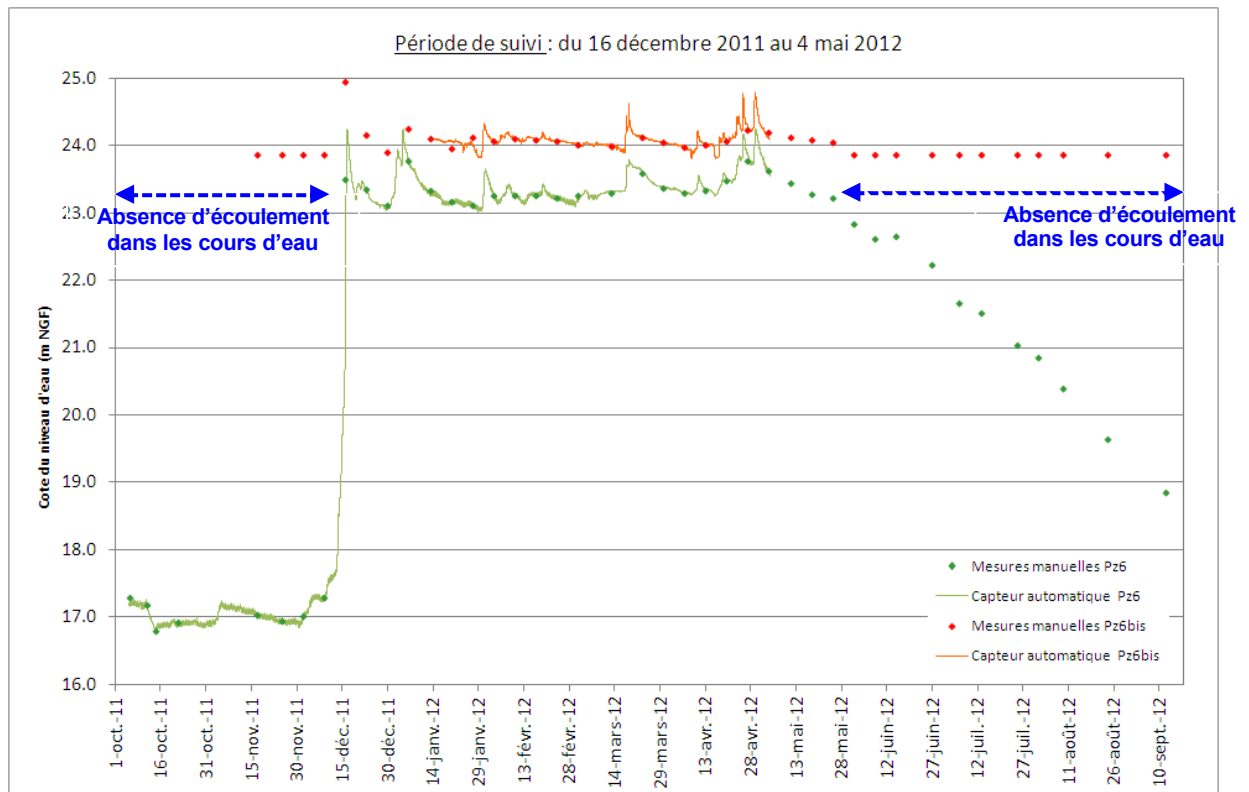


Figure 31 : Evolution des niveaux d'eau entre Pz 2 et l'Isac (Pz 2bis)



**Figure 32 : Evolution des niveaux d'eau entre Pz 6 et le Pas-Sicard (Pz6 bis)**

Les niveaux de la nappe à Augrain sont toujours systématiquement plus bas de 0,5 à 1 m par rapport au fil d'eau du Pas-Sicard (Fig. 32 et 33). La nappe soutire donc inévitablement l'eau du ruisseau dans la limite possible du débit d'absorption des pertes. Les écoulements du Pas-Sicard sont toujours perchés au dessus de la nappe, ce qui explique que les créneaux de pompage visibles en Pz 6 ne se font pas sentir sur les niveaux du Pas-Sicard.

Sur l'Isac, les niveaux d'eau demeurent toujours assez proches de ceux observés sur la nappe à proximité en Pz 2 (Fig. 31). Cependant lorsque l'on y regarde de plus près, on s'aperçoit que tantôt le niveau de l'Isac est supérieur à celui de la nappe, tantôt c'est l'inverse qui se produit (Fig. 34). C'est la preuve que l'Isac tantôt se perd pour alimenter la nappe, et tantôt sert d'exutoire à la nappe. En d'autres termes, lorsque la nappe déborde en hiver, elle se déverse dans l'Isac qui alors la draine.

Les créneaux de pompage observés en PZ 2 s'enregistrent également sur l'Isac, ce qui atteste d'une relation hydraulique étroite entre l'Isac et la nappe à la Chutenaie.



#### 4.6.2.3 - Influence des pompages AEP sur les piézomètres

Lors de la réalisation de l'essai de pompage de 72 h sur les captages AEP, les enregistrements ont clairement démontré que ni le puits du Château (P 15), ni le piézomètre implanté chez Mr Jaunasse dans le bourg (Pz 23) n'ont été impacté par cet essai. L'évolution de leur niveau d'eau est totalement indépendante de celle des piézomètres captant la nappe de calcaires tels que Pz 2, Pz 6 ou Pz AEP (Fig. 35 et 36).

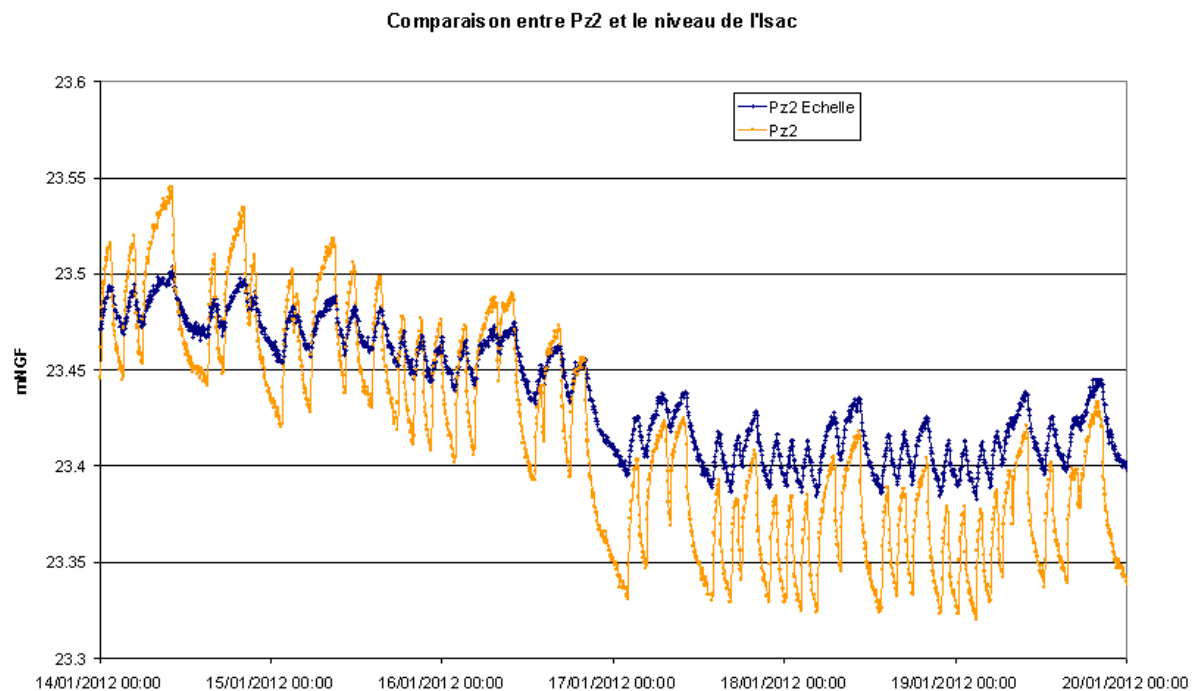
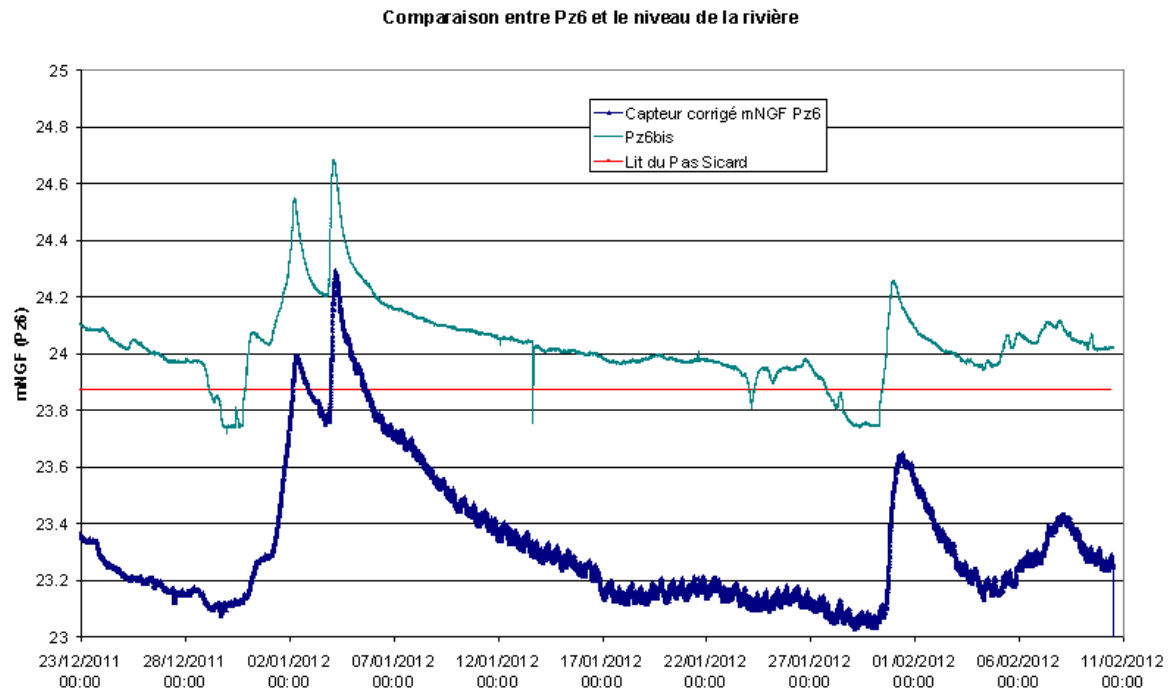
Les enregistrements réalisés dans les jours précédant cet essai de pompage (Fig. 35-zoom) montrent que, contrairement aux observations faites sur Pz 6 où les créneaux de pompage sont visibles, les autres points d'eau instrumentés (P 9, P 15, P 20 et Pz 9) présentent une évolution différente indiquant qu'ils ne captent pas la même ressource en eau

Sur les enregistrements effectués au printemps 2012 (Fig. 37), alors que 4 nouveaux piézomètres ont été réalisés dans le bourg de Saffré, on constate que :

- certains ouvrages enregistrent l'influence des créneaux de pompage dans le centre du bourg. Ce sont les piézomètres Pz 28, Pz 29 et le puits P 17 de chez Mr Tudoret ;
- on retrouve également le signal des créneaux de pompage sur le piézomètre Pz 30, mais celui-ci est plus atténué ;
- sur le piézomètre Pz 15, les créneaux en eux-mêmes ne sont pas perceptibles, mais la tendance générale des fluctuations de la nappe des calcaires est perceptible ;
- en revanche non seulement les créneaux de pompage ne sont pas perceptibles, mais l'évolution des niveaux piézométriques diffère de celle des piézomètres représentatifs de la nappe des calcaires sur les ouvrages suivants : Pz 16 et Pz 27 ;
- les créneaux de pompage ne sont pas visibles en Pz 9, situé en bordure du Pas-Sicard et influencé par les écoulements dans le ruisseau. Cependant en l'absence d'écoulements dans le Pas-Sicard, l'évolution générale des niveaux piézométriques paraît suivre assez fidèlement celle de la nappe des calcaires, tout en conservant une cote piézométrique supérieure d'environ 1 m par rapport à cette dernière (Fig. 40).

Dans le secteur situé au N-NE du village d'Augrain, les enregistrements mettent en évidence les points suivants :

- observation des créneaux de pompage en Pz 10, tout comme sur Pz 6 (Fig. 39-zoom) ;
- comportement différent du piézomètre Pz 7 plus à l'Ouest (Fig. 37-zoom).



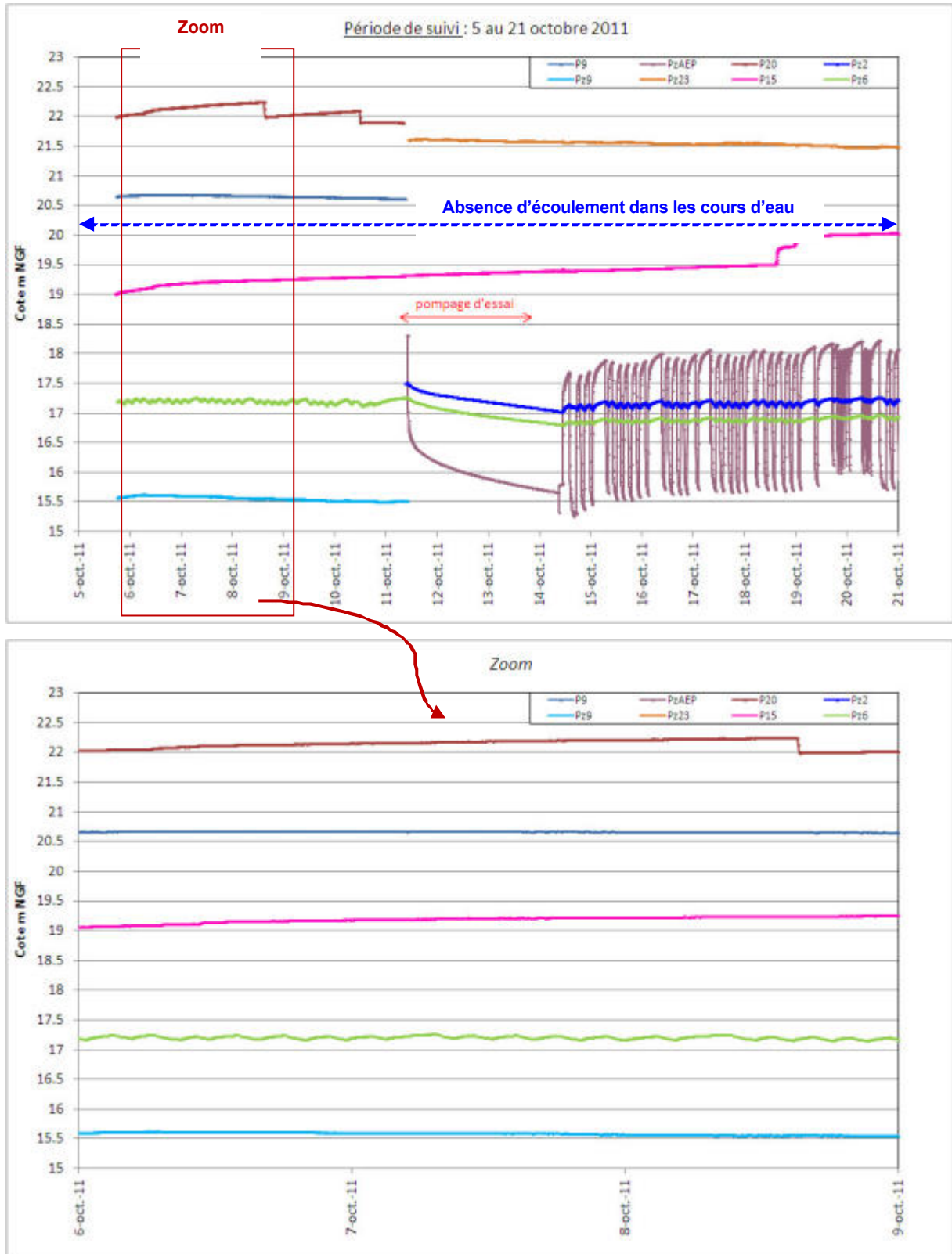


Figure 35 : Points de suivi au moment du pompage d'essai d'octobre 2011

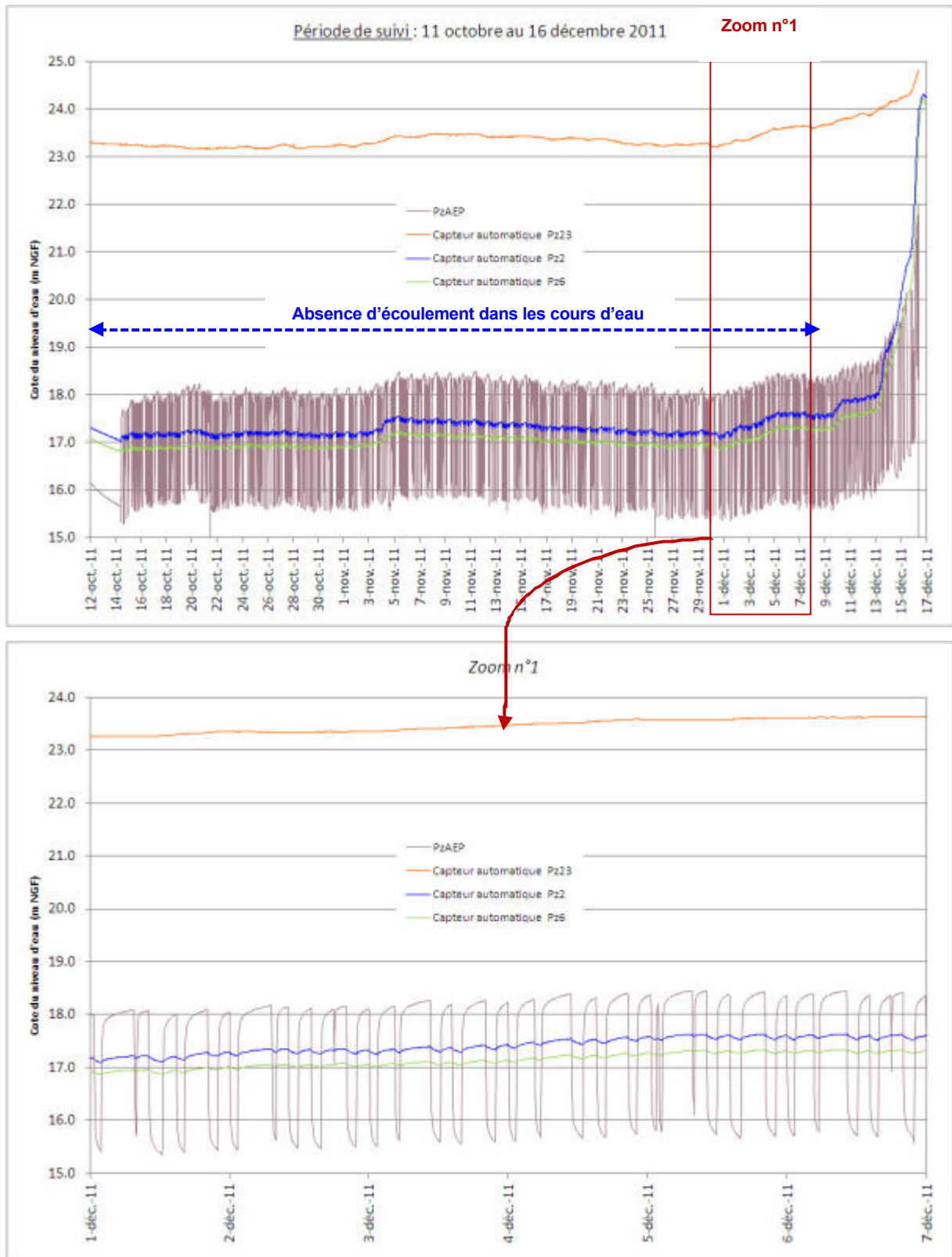


Figure 36 : Comparaison des niveaux Pz 23 avec d'autres piézomètres influencés par les pompages AEP

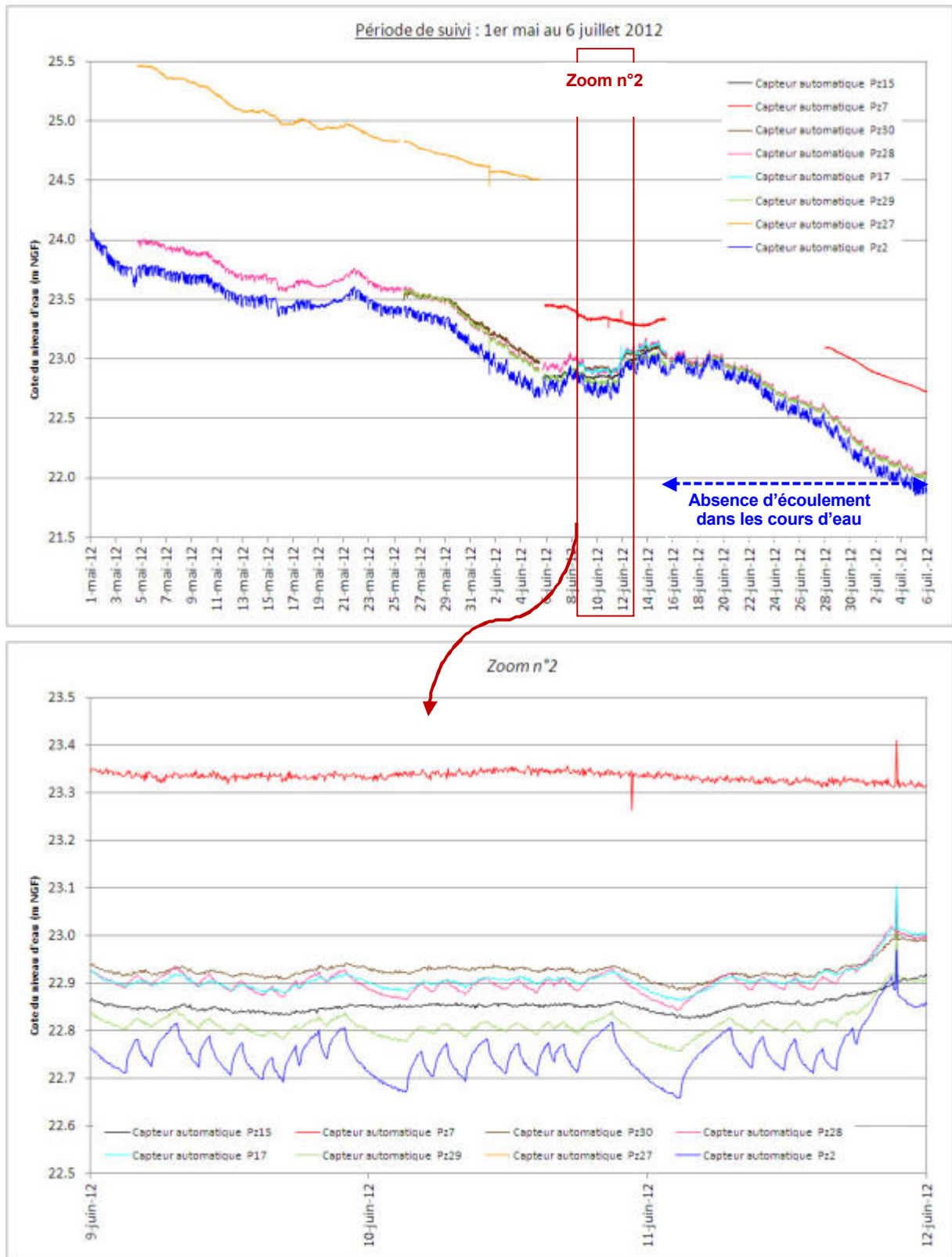
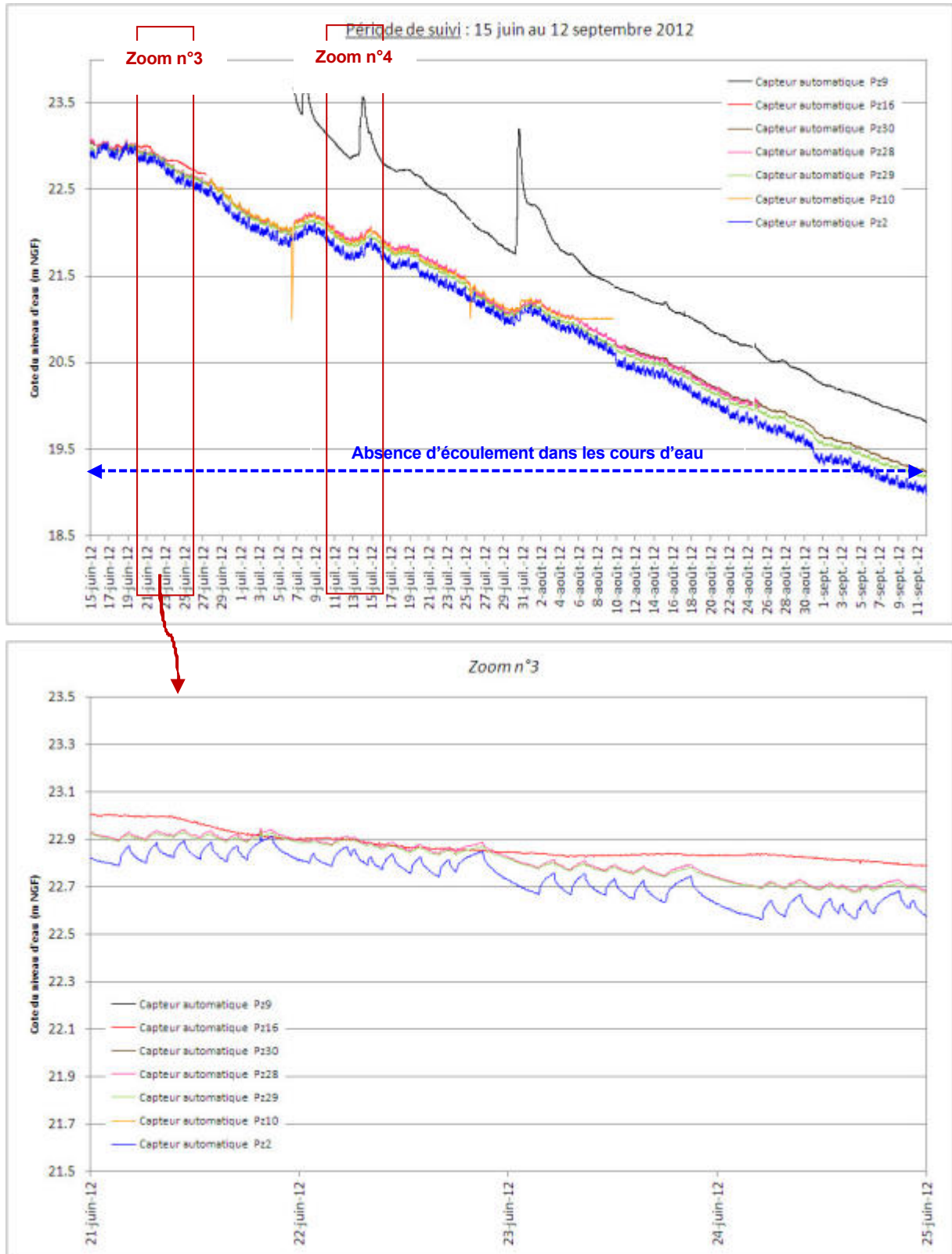


Figure 37 : Evolution des niveaux d'eau en Pz 7, Pz 15, Pz 27, Pz 28, Pz 29, Pz 30 et P 17





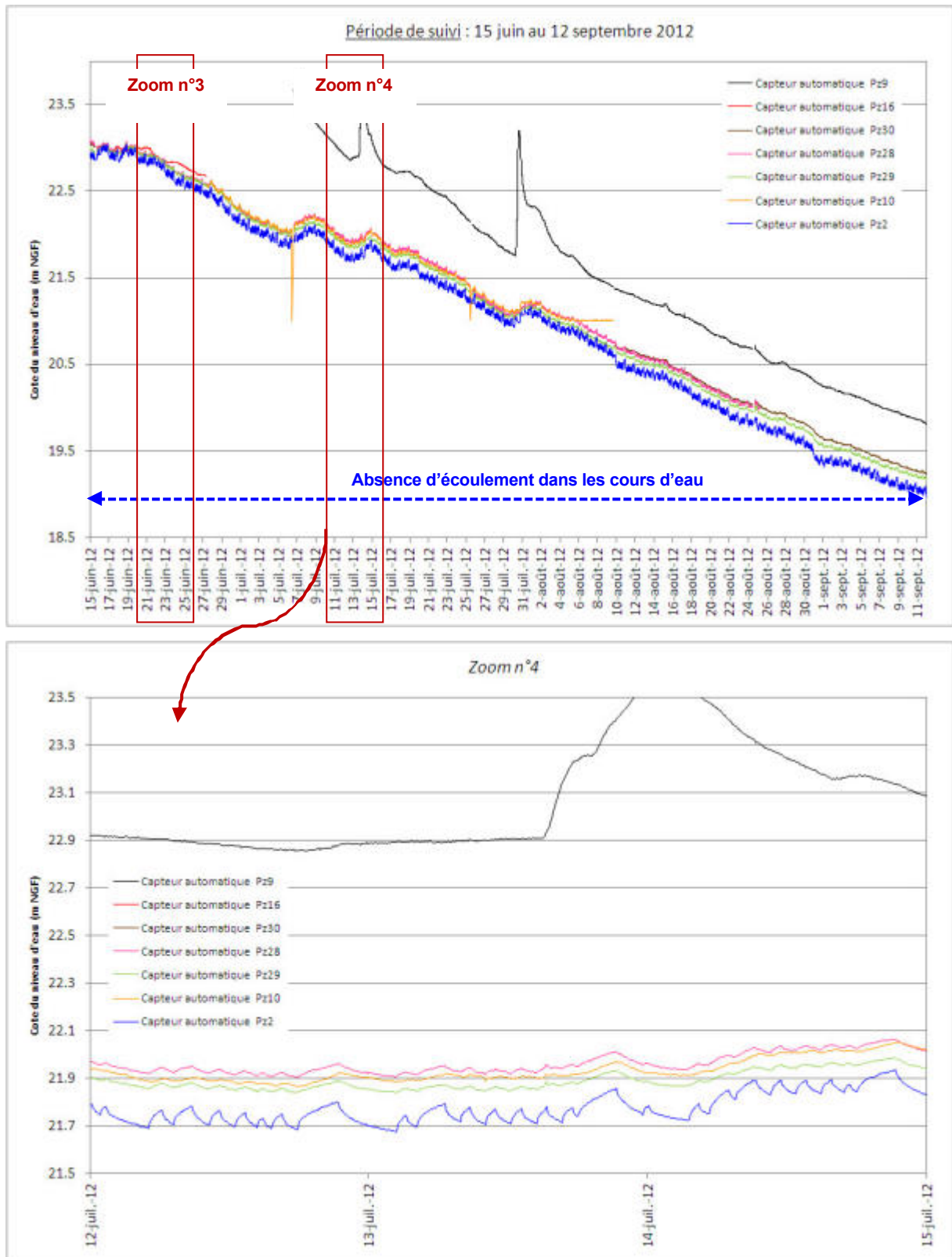


Figure 39 : Evolution des niveaux d'eau en Pz 9, Pz 10, Pz 16, Pz 28, Pz 29 et Pz 30

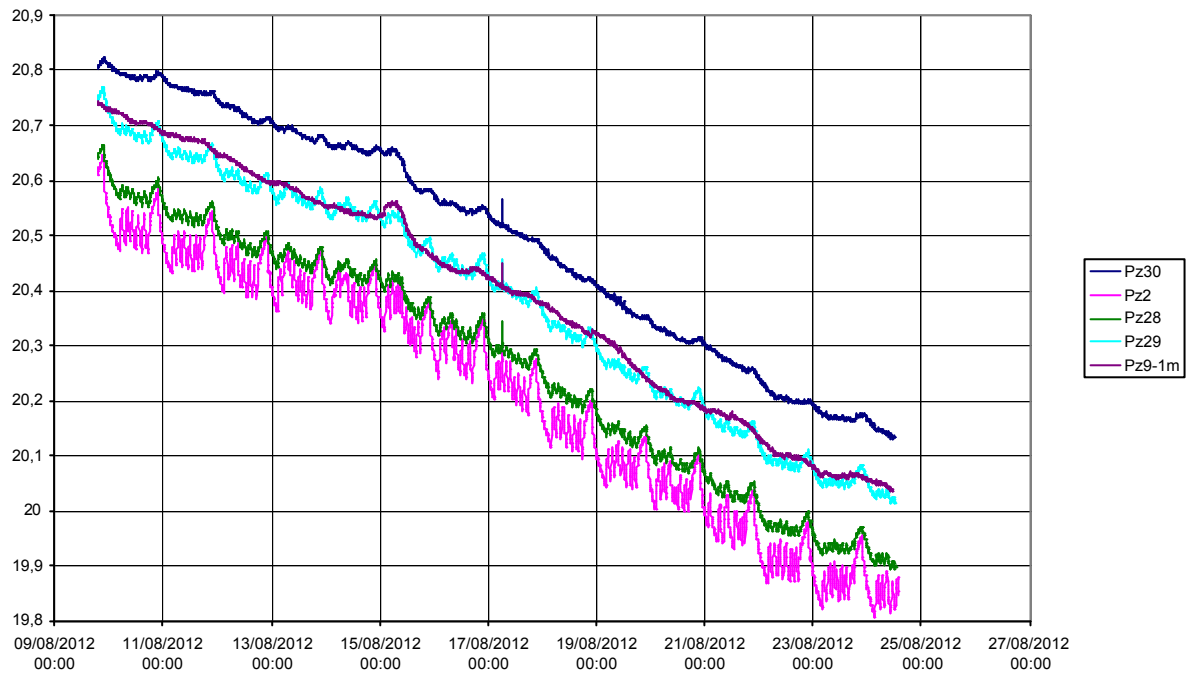


Figure 40 : Evolution des niveaux d'eau en Pz 9, Pz 2, Pz 28, Pz 29 et Pz 30

#### 4.6.3 - CAMPAGNES DE MESURE HEBDOMADAIRE DES NIVEAUX D'EAU

Au cours de la période d'étude, 21 points d'eau souterraine (9 puits et 14 piézomètres) ont fait l'objet de mesures de niveaux d'eau lors de campagnes hebdomadaires entre la mi-novembre 2011 et la mi-septembre 2012. La sélection de ces points a été faite en fonction de leur représentativité, compte tenu des données piézométriques acquises antérieurement et du contexte géologique dans lequel ils se trouvent.

Les niveaux des ruisseaux du Pas Sicard, de Puceul et de l'Isac étaient également surveillés en différents points afin de préciser leurs modalités d'assèchement et de remise en eau.

Les résultats de ces suivis sont représentés sur une série de graphes ci-après (Fig. 41 à 45).

##### 4.6.3.1 - Les écoulements dans les ruisseaux

Jusqu'à début décembre 2012, les ruisseaux de l'Isac, de Puceul et du Pas-Sicard étaient totalement asséchés sur tout le tronçon recoupant le bassin de Saffré. Le seul ruisseau qui demeure en eau toute l'année est l'Apsiguais en raison de son alimentation artificielle par les rejets des eaux traitées de la station d'épuration de Saffré. Toutefois cet écoulement disparaît totalement dès que l'Apsiguais rejoint le cours de l'Isac au gué (Fig. 29). Il alimente des pertes en relation avec la nappe sous-jacente des calcaires marins oligocènes.

La remise en eau des ruisseaux s'est fait à l'occasion d'un épisode pluvieux soutenu début décembre, qui est à l'origine d'une crue importante le 16 décembre 2011. Ceux-ci demeurent en eau durant tout l'hiver et le printemps. Leur débit diminue ensuite progressivement à partir de mai et provoque une régression vers l'amont du front d'écoulement. Ils s'assèchent totalement aux environs du 15 juin.

#### 4.6.3.2 - Comportement des piézomètres du secteur de la Chutenaie

D'après la figure 41, on constate que dès que l'écoulement reprend dans l'Isac début décembre, les niveaux piézométriques des piézomètres Pz 2 et Pz 6, représentatifs de la nappe des calcaires, remontent en raison de l'alimentation des pertes situées dans le fond de l'Isac. Cette remontée s'accélère au moment de la crue du 16 décembre. Ensuite les niveaux ne fluctuent plus beaucoup et leurs variations restent étroitement liées à celles du niveau de l'Isac jusqu'en mai. A cette période le débit de l'Isac diminue. Le débit des pertes n'est alors plus suffisant pour permettre une réalimentation totale de la nappe qui venait compenser les prélèvements AEP. Il s'ensuit une baisse régulière des niveaux piézométriques de la nappe durant toute la période estivale.

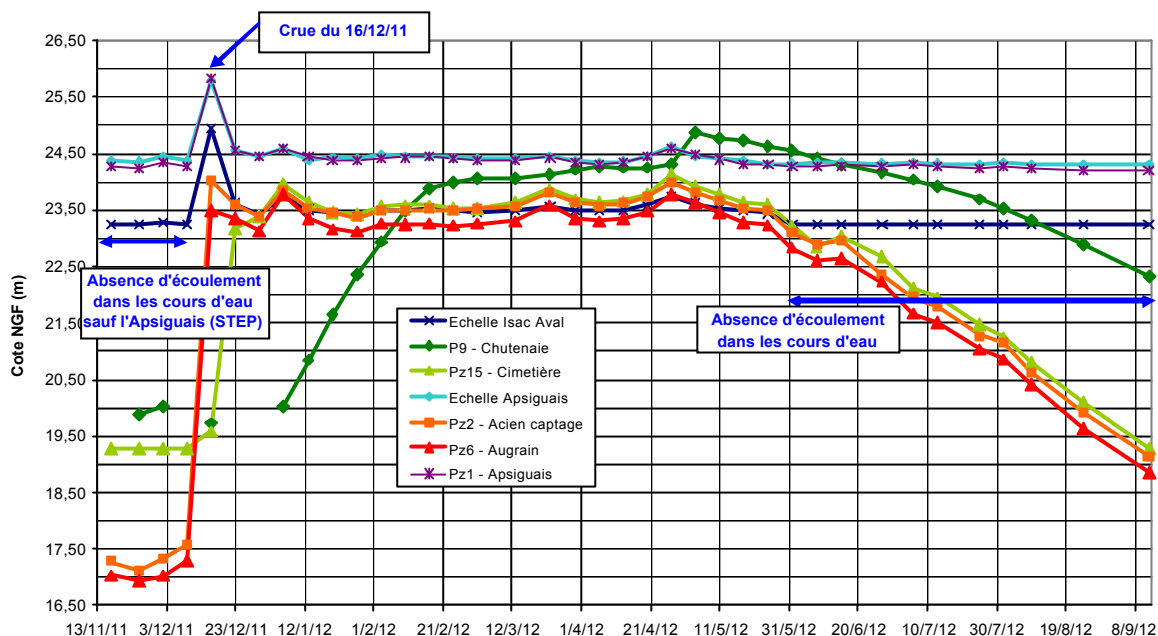


Figure 41 : Evolution comparative des niveaux d'eau de la nappe des calcaires aux environs de la Chutenaie

La comparaison avec l'évolution constatée sur les autres points d'eau du secteur permet de tirer les conclusions suivantes :

- le puits domestique de la Chutenaie (P 9) qui est peu profond (7,5 m/sol) présente une évolution piézométrique très différente de celle de PZ2 ou PZ6. Les niveaux observés sur ce puits ne sont pas représentatifs de ceux de la nappe des calcaires, mais d'une nappe perchée contenue dans des formations marneuses surmontant les calcaires marins.

- le Pz 1 présente des niveaux d'eau qui suivent fidèlement les niveaux de l'Apsiguais. Ses niveaux sont manifestement sous la dépendance de l'Apsiguais au bord duquel il est implanté. Il ne fournit donc aucune indication sur la nappe des calcaires.
- le piézomètre Pz 15 situé au Nord du bourg de Saffré présente une évolution représentative de la nappe des calcaires. L'influence de la réalimentation de la nappe par l'Isac se manifeste avec un peu de retard sur cet ouvrage en raison de son éloignement par rapport au cours d'eau. Sa vidange estivale reste comparable à celle de Pz 2 et Pz 6.

#### 4.6.3.3 - Comportement des points d'eau de chez Mr Jaunasse

Dans le bourg de Saffré, à son extrémité ouest, deux points d'eau ont été suivis régulièrement sur la propriété de Mr Jaunasse (Fig. 29) : un puits (P 7) peu profond (6,5 m/sol) et un piézomètre (Pz 23) descendu dans des terrains marneux à 13,8 m de profondeur.

L'évolution des niveaux d'eau sur ces deux ouvrages est similaire (Fig. 42). Elle se distingue très nettement de celle de la nappe des calcaires observée en Pz 2 et Pz 6. Les amplitudes de variation sont plus faibles et la recharge est plus lente (déphasage d'environ 3 semaines). De plus, la cote des niveaux mesurés reste toujours au-dessus des niveaux de la nappe des calcaires de 2 à 6 m suivant les saisons.

Ces deux ouvrages sont là aussi représentatifs d'une nappe perchée contenue dans des terrains marneux indépendante de la nappe des terrains calcaires.

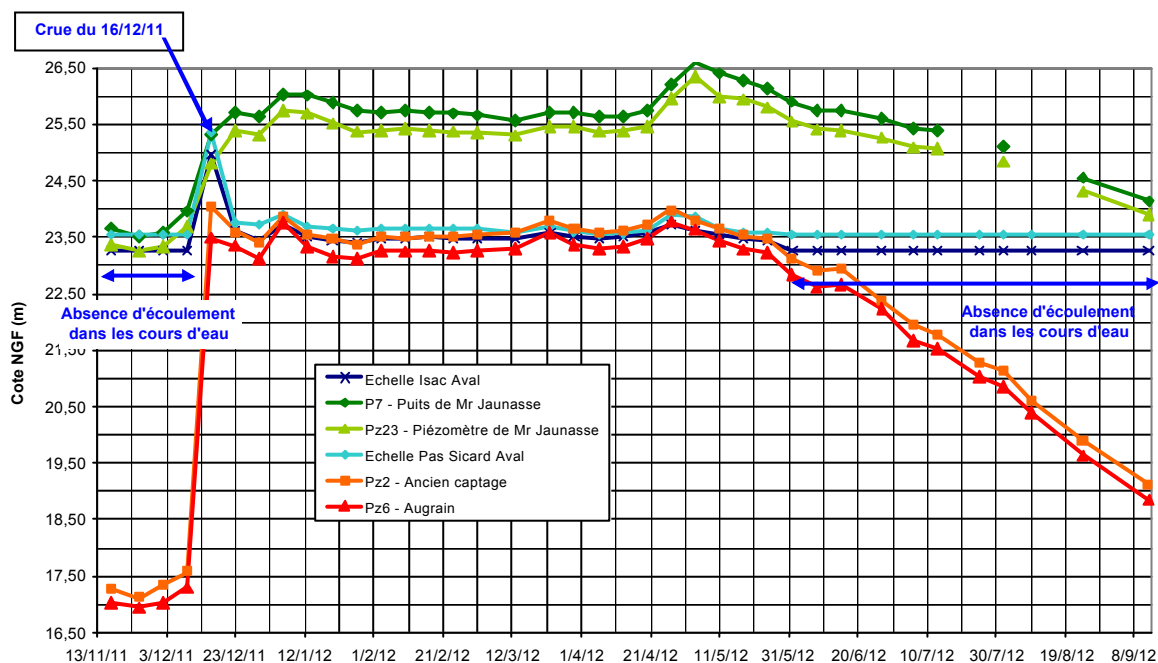


Figure 42 : Evolution comparative des niveaux d'eau entre la nappe des calcaires et les ouvrages de chez Mr Jaunasse



#### 4.6.3.4 - Comportement des points d'eau dans le secteur d'Augrain

Les trois puits domestiques du village d'Augrain (P1 à P3) ont un comportement similaire à la différence qu'un seul d'entre eux (P3) est suffisamment profond pour ne pas s'assécher totalement en été (Fig. 43). L'évolution de leur niveau d'eau se distingue là encore de celle de la nappe des calcaires observée sur Pz6. Nous sommes ici aussi en présence d'une nappe perchée indépendante de celle des calcaires.

En revanche le piézomètre Pz9 présente une évolution représentative de la nappe des calcaires comparable à celle de Pz6. Les cotes mesurées sont plus élevées du fait d'une part que cet ouvrage se situe en amont hydraulique, et d'autre part qu'il est implanté en bordure du Pas-Sicard. Ses niveaux se trouvent en effet influencés par les crues du ruisseau en période de hautes eaux.

Le piézomètre Pz7 implanté au Nord d'Augrain présente une évolution différente de celle de la nappe des calcaires. Sa recharge est encore plus tardive que celle observée sur les puits d'Augrain. Le déphasage par rapport à la nappe des calcaires est de 1,5 à 2 mois. Cet ouvrage implanté dans les formations sableuses pliocènes est partiellement remblayé et ne permet pas d'obtenir des informations sur l'évolution des niveaux d'eau en période de basses eaux.

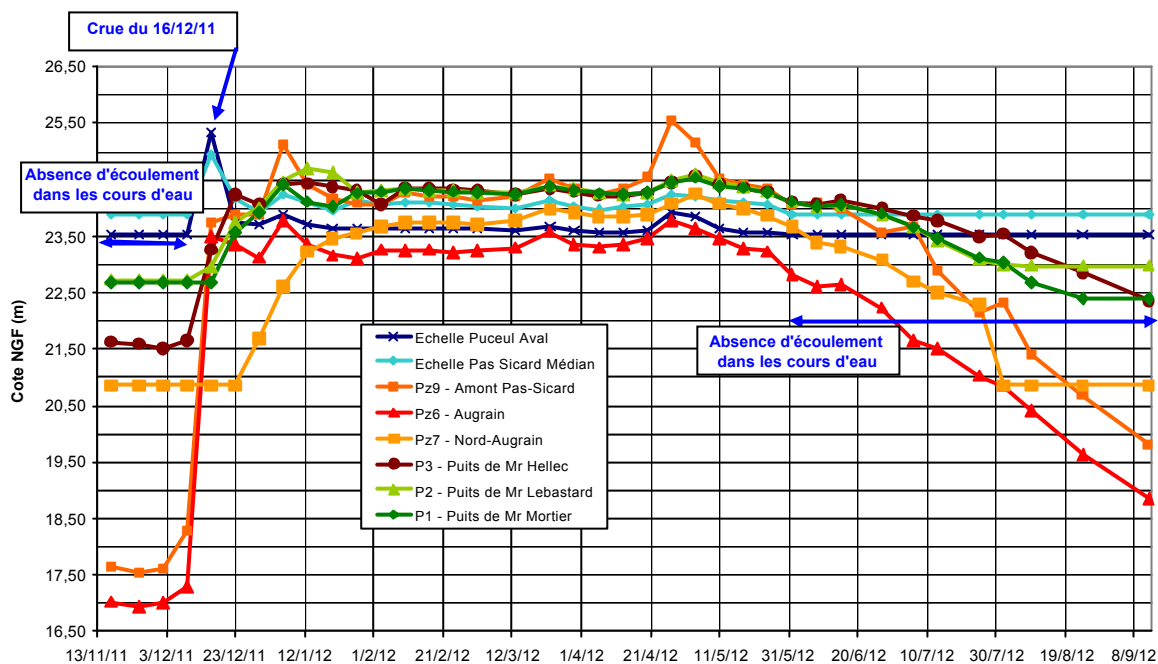


Figure 43 : Evolution comparative des niveaux d'eau dans le secteur d'Augrain

#### 4.6.3.5 - Comportement des points d'eau dans la partie amont du Pas-Sicard

Différents ouvrages sont implantés non loin du Pas-Sicard et en amont du village d'Augrain : 1 puits domestique (P5), un piézomètre (Pz10) et un forage aujourd'hui inexploité (Pz24). Ils sont en aval du Pz9, dans un secteur où apparaissent les zones de pertes les plus amont du Pas-Sicard, et où de nombreux effondrements ont été signalés.

Dans ce secteur les calcaires marins sont recouverts par une épaisseur d'au moins 7 m de sables pliocènes argilo-graveleux. Leur toit est situé aux environs de la cote 19,4 m NGF.

On constate que tous ces ouvrages ont un comportement identique à celui de Pz6 (Fig. 44). Ils sont donc tous représentatifs du fonctionnement de la nappe des calcaires. Dans ces ouvrages le niveau piézométrique est établi la plupart du temps à une cote supérieure à celle du toit des calcaires, soit au sein des sables pliocènes. Nous en déduisons qu'il y a continuité hydraulique, dans ce secteur au moins, entre l'aquifère calcaire et l'aquifère sableux sus-jacent. Celle-ci est vérifiée par l'existence de pertes dans le Pas-Sicard qui réalimentent la nappe des calcaires.

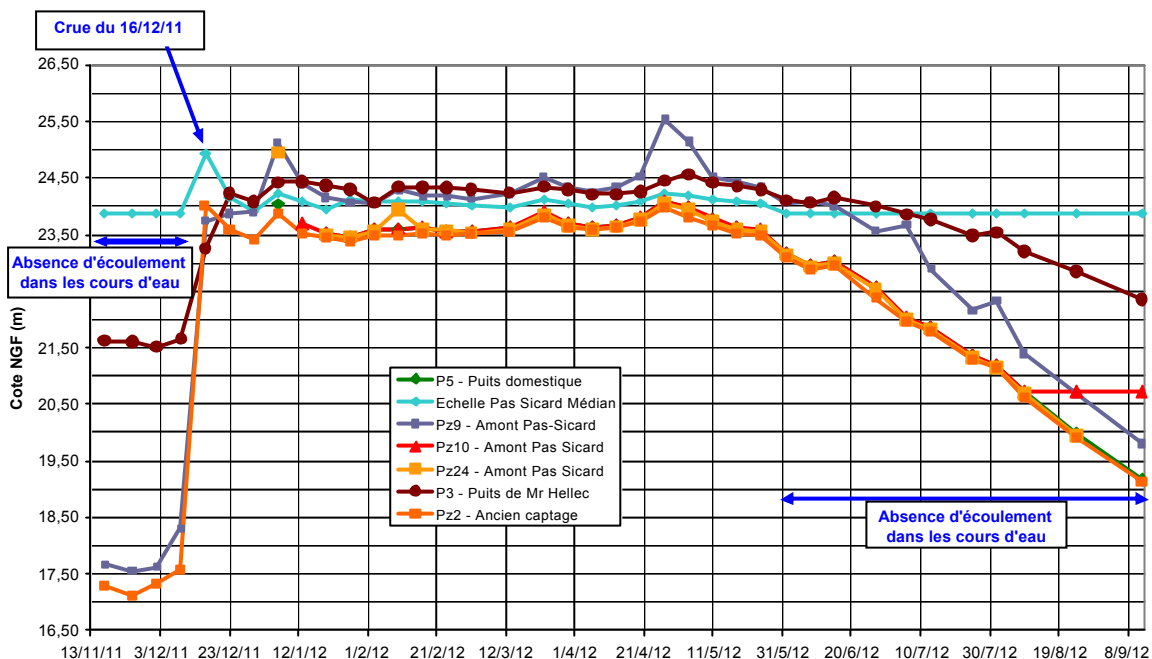


Figure 44 : Evolution comparative des niveaux d'eau en partie amont du Pas Sicard

Ajoutons que dans ce secteur, les observations faites dans le lit du Pas-Sicard mettent en évidence ponctuellement des affleurements de roche calcaire qui pourraient laisser supposer que le toit des calcaires marins oligocènes présente une topographie accidentée et qu'il peut donc apparaître à des profondeurs très variables, dont certaines proches de la surface. Ces derniers ont été formellement reconnus à l'entrée d'Augrain dans une tranchée ouverte à l'occasion des travaux d'assainissement en mai 2011. Ils apparaissent vers 2,5 à 3m de profondeur sous un recouvrement d'argile limoneuse collante marron et d'argiles plastiques de teinte bleu-vert.

#### 4.6.3.6 - Comportement des points d'eau dans le centre du bourg de Saffré

En janvier 2012, quatre nouveaux piézomètres (Pz27 à Pz30) ont été forés à une quinzaine de mètres de profondeur dans le bourg de Saffré, de façon à mieux préciser la géologie dans ce secteur. Ces nouveaux points d'eau ont également fait l'objet d'un suivi piézométrique (Fig. 45).

Il apparaît que trois d'entre eux présentent une évolution caractéristique de la nappe des calcaires reconnue grâce aux mesures faites en Pz2. Ceci se comprend aisément pour les deux piézomètres qui ont recoupé les calcaires marins sous un recouvrement d'une dizaine de mètres de terrains marno-argileux (Pz28 et Pz29). Ceci est plus surprenant plus le troisième (Pz30) qui ne recoupe que des niveaux de sables argileux ou d'argiles sableuses du Pliocène. Cependant des éléments calcaires ont été rencontrés dans les déblais issus du fond du forage. Nous pensons donc que le fond du forage doit être situé à proximité du toit des calcaires et qu'une continuité hydraulique existe dans ce secteur entre la nappe des calcaires et celle contenue dans les sables pliocènes, à l'image de ce qui se passe aussi au Nord d'Augrain.

Le piézomètre Pz27 possède quant à lui un comportement très distinct de celui de la nappe des calcaires et ses niveaux d'eau sont toujours supérieurs à ceux de la nappe des calcaires d'au moins 0,70 m en période de hautes. Mais cet écart peut dépasser plus de 3,5 m en basses eaux. Ces niveaux sont représentatifs d'une nappe perchée contenue dans des lentilles calcaires intercalées entre des niveaux d'argiles vertes ou de marnes. Son évolution est très comparable à celle observée sur les ouvrages de chez Mr Jaunasse (Fig. 42). Nous sommes en présence d'une nappe perchée au-dessus des calcaires.

Signalons aussi dans le bourg que le puits domestique peu profond (5,2 m/sol) de chez Mr Tudoret présente aussi un comportement analogue à celui de la nappe des calcaires. Cet ouvrage établi a priori dans les alluvions de l'Isac est aussi connecté avec la nappe des calcaires. C'est d'ailleurs ce qui explique son tarissement estival. Il existe donc aussi dans ce secteur du centre bourg, une continuité hydraulique entre les alluvions de l'Isac et la nappe sous-jacente des calcaires.

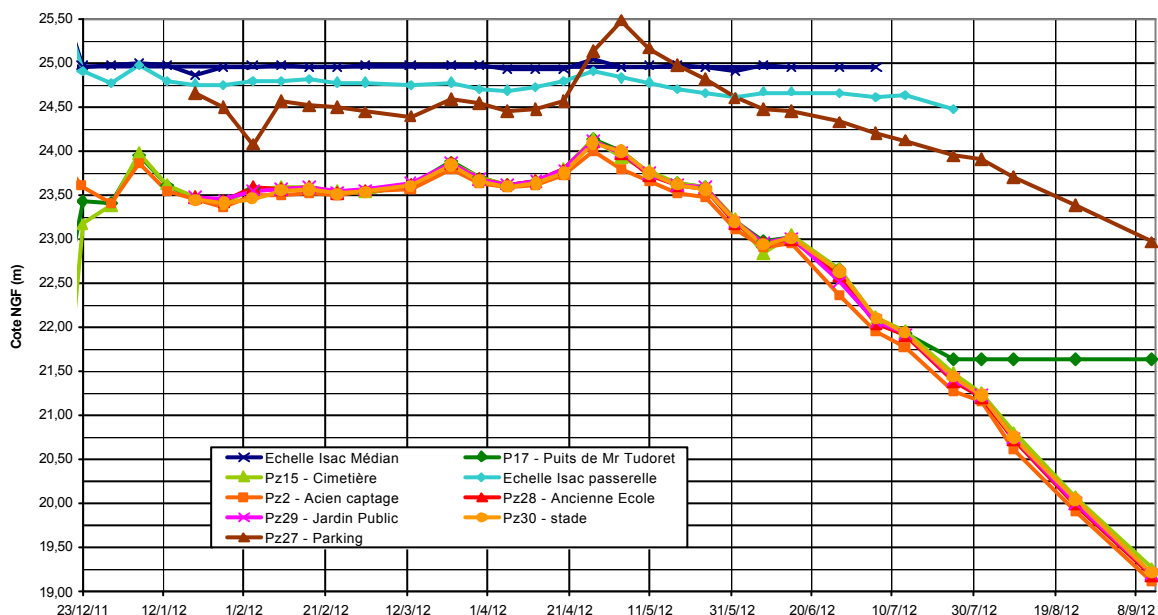


Figure 45 : Evolution comparative des niveaux d'eau dans le centre bourg de Saffré

#### 4.6.4 - SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Le suivi piézométrique permet de mieux comprendre quels sont les ouvrages représentatifs des fluctuations de la nappe des calcaires marins oligocènes et quels sont ceux qui ne le sont pas. C'est ainsi que l'on distingue (Tab. 8) :

- des piézomètres qui captent directement la nappe des calcaires et qui sont soumis à l'influence des pompages AEP. Ce sont en premier lieu les ouvrages profonds du secteur de la Chutenaie (Pz 2 et Pz AEP). Les ouvrages implantés à proximité du Pas-Sicard à Augrain et plus au Nord (Pz 6, Pz 10, Pz 24 et P 5). Les piézomètres implantés dans le bourg de Saffré à proximité de l'Isac (Pz 28, Pz 29, P 17 et Pz 15).
- plus au Nord, deux autres piézomètres suivis présentent un comportement analogue à la nappe des calcaires bien qu'ils soient totalement implantés dans des sables pliocènes (Pz 30 et Pz 9).
- le piézomètre Pz 7 situé dans des sables pliocènes avait recoupé les calcaires marins vers 14 m de profondeur. Cependant cet ouvrage est aujourd'hui partiellement rebouché à 8,5 m de profondeur et ne permet pas de mesurer les niveaux de basses eaux. La signature des créneaux de pompage n'a pas été observée sur cet ouvrage, mais il n'est pas impossible qu'il soit sous l'influence des variations de la nappe des calcaires tout comme l'est le Pz 9. Ceci aurait pu être vérifié s'il avait été possible de faire des mesures en période de basses eaux.
- bien que proche des forages du captage AEP, le puits de la Chutenaie (P 9) n'est pas influencé par les pompages. Il capte une nappe perchée superficielle contenue dans les horizons plus marneux recouvrant les calcaires marins.

Tableau 8 : Résumé des résultats du suivi piézométrique

Numéro ouvrage	Modalités du suivi H : hebdomadaire C : continu	Influence au cours de l'essai de pompage longue durée sur les forages AEP (O/N)	Influence des pompages AEP journaliers (O/N)	Fluctuations saisonnières représentatives de la nappe des calcaires (O/N)	Autre « aquifère » concerné
P1	H	asséché	-	N	Marnes surmontant les calcaires marins
P2	H	asséché	-	N	
P3	H	(N)	-	N	
P5	H	asséché	-	O	Sables pliocènes en lien avec calcaires marins
P7	H	(N)	-	N	Marnes oligocènes
P9	C + H	(N)	N	N	Marnes surmontant les calcaires marins
P15	C	N	N	-	Argiles vertes éocènes
P17	C + H	asséché	O	O	Alluvions de l'Isac
P20	C	(N)	N	-	Argiles vertes éocènes
Pz1	H	(N)	-	N	Influencé par l'Apsiguais
Pz2	C + H	O	O	O	Calcaires marins
Pz6	C + H	O	O	O	Calcaires marins
Pz7	C + H	asséché	N	N	Sables pliocènes
Pz9	C + H	(O)	N	O	Sables pliocènes en lien avec calcaires marins
Pz10	C + H	asséché	O	O	Sables pliocènes en lien avec calcaires marins
Pz15	C + H	asséché	N	O	Calcaires marins sous alluvions de l'Isac
Pz16	C	asséché	N	-	Marno-calcaires
Pz23	C + H	N	N	N	Marnes oligocènes
Pz24	H	(O)	-	O	Calcaires marins
Pz27	C + H	-	N	N	Marnes oligocènes
Pz28	C + H	-	O	O	Calcaires marins
Pz29	C + H	-	O	O	Calcaires marins
Pz30	C + H	-	O (peu marquée)	O	Sables pliocènes en lien avec calcaires marins
PzAEP	C	O	O	O	Calcaires marins

(pour l'essai de pompage longue durée certains résultats sont déduits de mesures ponctuelles faites avant le début du pompage et avant son arrêt, et non par des enregistrements en continu)

- on retrouve au droit du village d'Augrain un contexte analogue à celui de la Chutenaie où les puits domestiques (P 1 à P 3) sont déconnectés de la nappe des calcaires sous-jacente du fait de la présence de marnes. Celles-ci expliquent d'ailleurs le fait que l'étang du village ne s'assèche pas complètement malgré une absence d'alimentation par le ruisseau de Puceul durant tout l'été.
- dans le secteur du Château (P 15 et P 20), les points d'eau ne sont pas en relation avec la nappe des calcaires. Ils sont établis sur les argiles vertes éocènes bien visibles plus au Sud dans le lit de l'Apsiguais.



- les ouvrages situés au Sud et à l'Ouest du bourg de Saffré (Pz 27, Pz 23 et P 7) captent eux aussi une nappe perchée contenue dans un épais horizon de marnes oligocènes (supérieur à une vingtaine de mètres) coiffant les calcaires marins. L'évolution des niveaux piézométriques de cette nappe diffère nettement de celle de la nappe des calcaires.
- enfin les données obtenues sur le piézomètre Pz 16 localisé au Nord-Ouest du bourg ne sont pas assez étoffées pour pouvoir conclure, surtout que l'ouvrage s'assèche rapidement en période de basses eaux. On sait qu'il est plutôt implanté dans des formations marneuses et que les créneaux de pompage AEP n'ont pas été décelés sur les enregistrements.

## 4.7 - ASPECT QUALITATIF

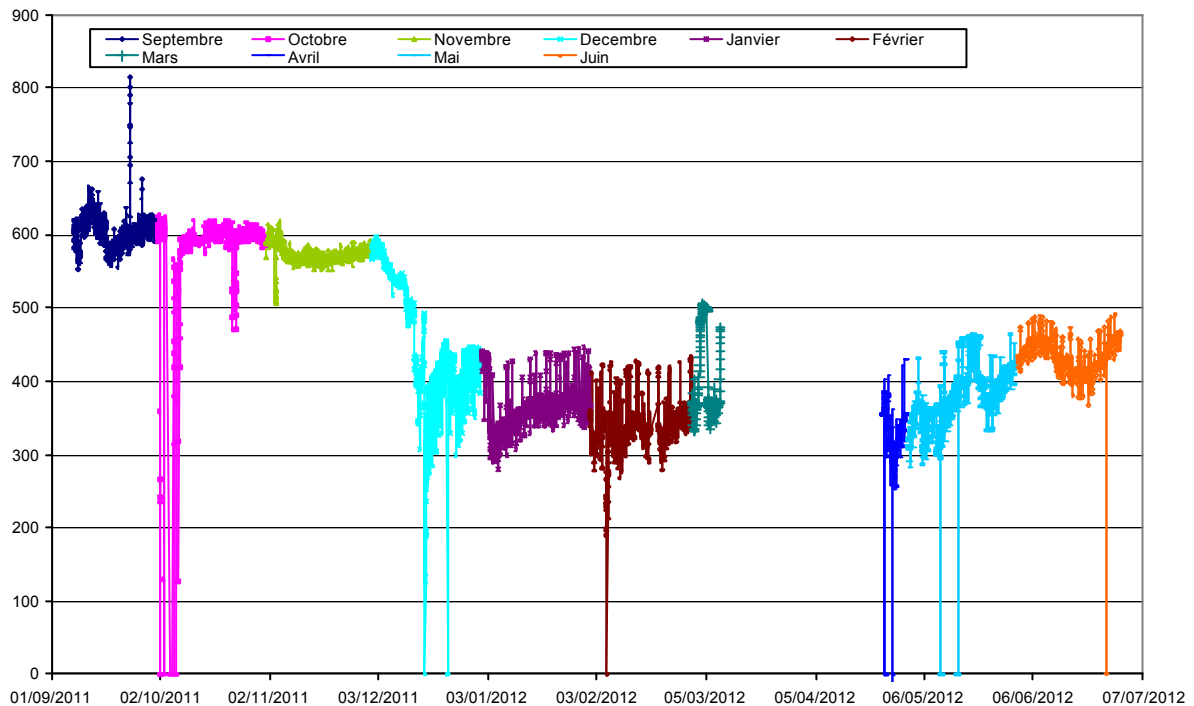
### 4.7.1 - SUIVI DE LA CONDUCTIVITE

La conductivité de l'eau brute pompée par les captages AEP est un paramètre qui est mesuré en continu par l'exploitant à l'entrée de l'usine de traitement. C'est un paramètre qui donne une idée de la minéralisation globale de l'eau. Cette minéralisation est à dominante bicarbonatée calcique en raison de la nature lithologique de l'aquifère exploité : les calcaires marins oligocènes. Ainsi, les valeurs de la conductivité de l'eau vont pouvoir donner une indication sur les variations de temps de séjour de l'eau pompée sur les captages. En effet, plus l'eau va séjourner longtemps au sein de l'aquifère plus sa minéralisation sera élevée, et plus son séjour sera court, plus sa minéralisation sera faible.

L'eau pompée sur un forage, et mieux encore à l'exutoire naturel d'un aquifère karstique, est en fait un mélange dans des proportions qui varient au fil du temps de différentes catégories d'eau qui ont séjourné plus ou moins longtemps dans l'aquifère. Selon les conditions hydrologiques, l'influence d'une famille d'eau à temps de séjour donné sera prépondérante par rapport aux autres. Ainsi, en étudiant les courbes de distribution de fréquence de la conductivité au cours d'un cycle hydrologique, il est possible de mettre en évidence différentes familles d'eau mobilisées par le pompage. Cette approche est ainsi utilisée pour apprécier le degré de karstification d'un aquifère carbonaté : plus la gamme de variation de la conductivité au cours du cycle hydrologique est étendue, et plus on distingue de modes sur la courbe, plus l'aquifère est karstifié (Bakalowicz, 1979).

Les données de conductivité enregistrées à l'entrée de l'usine de traitement entre fin septembre 2011 et juin 2012 ont été récupérées auprès de la SAUR pour être ainsi analysées. Une interruption des mesures est survenue entre le 8 mars et le 24 avril, car l'usine de traitement et les pompages AEP étaient à l'arrêt pour permettre la réalisation de travaux de maintenance.

Le pas d'acquisition des mesures est très court, de l'ordre de la seconde. Il en résulte aussi une assez grande instabilité de la mesure (Fig. 46). Il a donc été nécessaire d'effectuer un filtrage préalable de ces données pour pouvoir les traiter ensuite et dresser la courbe de distribution de fréquence de cette chronique (Fig. 47).



**Figure 46 : Evolution de la conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de l'eau brute des captages AEP de Saffré entre septembre 2011 et juin 2012 (Données SAUR)**

Abstraction faite des variations pluri journalières dues aux différentes phases de pompage et aux artéfacts de mesure probablement en lien avec les modalités d'exploitation de l'usine, on constate que la conductivité ne présente pas de fortes variations à court terme et que celle-ci se décompose au cours de la chronique étudiée suivant deux principales familles. C'est ainsi que l'on distingue sur la chronique d'évolution :

- un premier plateau entre septembre et novembre où les conductivités oscillent autour de  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ , avec une légère tendance à la baisse des valeurs en novembre. Cette période coïncide avec la période de basses eaux où les écoulements superficiels sont taris ;
- un second plateau observé entre la mi-décembre et la mi-mai où les conductivités oscillent autour de  $350 \mu\text{S}/\text{cm}$ . C'est la période qui correspond aux hautes eaux où les écoulements dans les ruisseaux ont repris et sont continus sur l'ensemble du bassin de Saffré ;
- entre ces deux plateaux, une période de transition assez rapide survenant principalement au cours de la première quinzaine de décembre, à l'époque où les écoulements superficiels reprennent. Les pertes qui réalimentent l'aquifère redeviennent à ce moment fonctionnelles ;
- à partir de la mi-mai on observe une remontée progressive des conductivités qui coïncide avec le début du tarissement des ruisseaux.

La représentation de cette chronique en termes de distribution de fréquence des valeurs de conductivité (Fig. 47), fait ressortir deux modes principaux correspondant aux deux principales familles d'eau identifiées, l'un autour de 380  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et l'autre autour de 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Un troisième mode plus discret apparaît vers 440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Il concerne les eaux à minéralisation intermédiaire pompées au moment où les écoulements superficiels reprennent et alimentent de nouveau les pertes qui viennent recharger l'aquifère. L'eau prélevée est alors un mélange d'eau à temps de séjour long issue des réserves de l'aquifère et d'eau à temps de séjour court en provenance des pertes des écoulements superficiels.

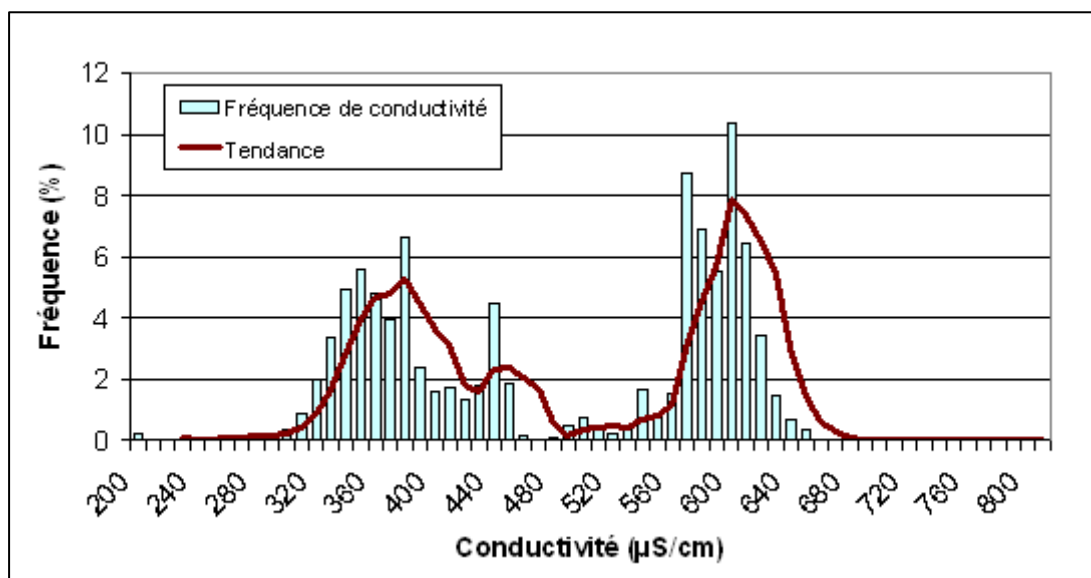


Figure 47 : Courbe de distribution de fréquence de la conductivité de l'eau brute pompée sur les captages AEP de Saffré

Ainsi, il ressort de cette analyse que deux principales familles d'eau sont prélevées par les captages. L'une représente des eaux caractéristiques des réserves de l'aquifère dont la minéralisation ne paraît pas notablement affectée par les précipitations dès lors que celles-ci ne sont pas suffisantes pour remettre en eau les écoulements superficiels en provenance des bassins-versants situés en amont du bassin de Saffré. L'autre, moins minéralisée provient de la réalimentation de l'aquifère par les pertes des cours d'eau, l'eau ainsi infiltrée venant compenser les prélèvements AEP et la vidange naturelle de l'aquifère au droit de la zone d'émergence identifiée dans le cours de l'Isac.

On met ainsi nettement en évidence que les pertes de cours d'eau sont le principal mode d'alimentation de l'aquifère. La signature de la recharge directe par les précipitations tombant sur l'impluvium n'est pas perceptible sur les chroniques, dès lors qu'il n'existe plus d'écoulement superficiel. C'est le signe que l'infiltration directe est un mode négligeable d'alimentation de l'aquifère. Ceci peut être mis en parallèle avec l'absence de développement d'un exo-karst au droit des zones où les calcaires oligocènes affleurent.

Il faut en conclure que l'aquifère carbonaté est peu karstifié en dehors des zones fracturées en contact avec les écoulements superficiels, à l'aplomb desquelles se développent des pertes.

#### 4.7.2 - APPARITION DE SELENIUM EN ETIAGE

Depuis plusieurs années, il est constaté en période d'été une hausse des teneurs en sélénium, avec un dépassement temporaire de la limite de qualité fixée à 10 µg/l pour les eaux souterraines destinées à la consommation humaine. Ceci oblige l'exploitant à réduire sa production de façon à permettre, avant sa mise en distribution, une dilution du sélénium avec les eaux des captages de Nort-sur-Erdre présentant des concentrations beaucoup plus faibles. L'eau contrôlée en sortie du réservoir de Saffré est ainsi abaissée à une teneur en sélénium inférieure à 10 µg/l.

A ce jour, aucune intoxication humaine par la consommation d'une eau naturelle contenant du Sélénium en excès n'a été démontrée. Les eaux minérales riches en sélénium sont même exploitées en cure thermique pour le traitement des maladies cutanées, comme par exemple à La Roche-Posay où les teneurs dans l'eau varient entre 17 et 60 mg/l.

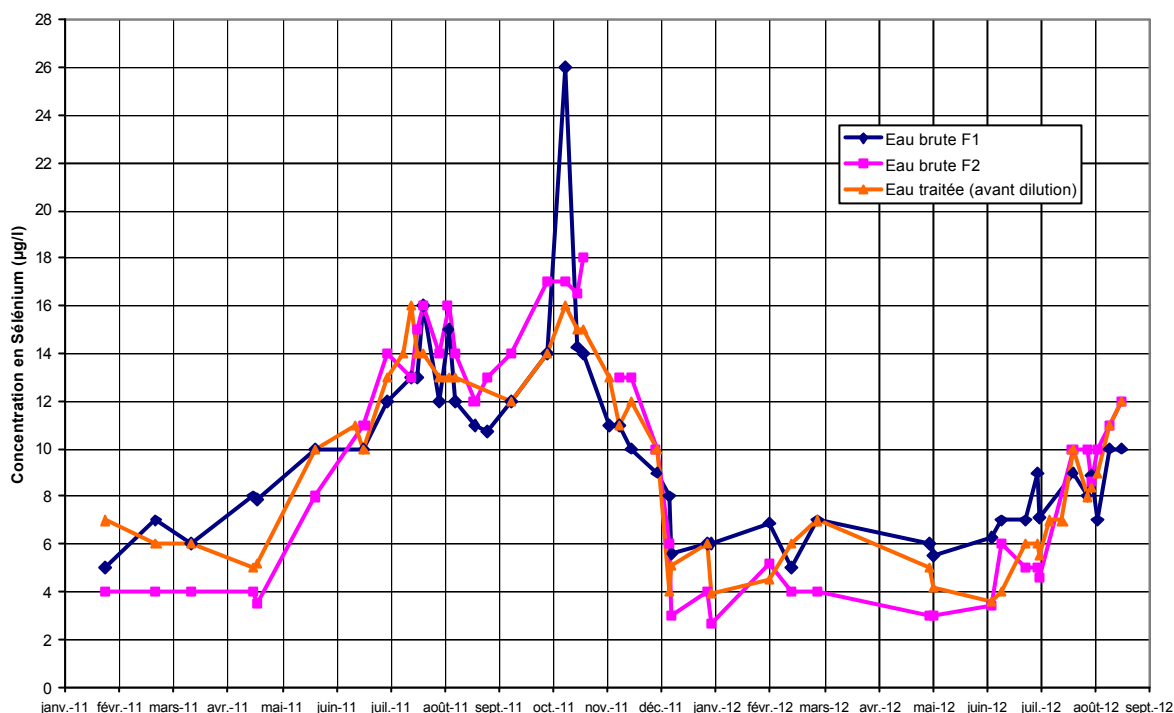


Figure 48 : Evolution des teneurs en Sélénium sur les captages AEP de Saffré (Données SIAEP)

Le pic des teneurs en Sélénium a été particulièrement marqué en 2011, avec des valeurs supérieures à 10 µg/l entre la mi-juin et début décembre, avec des teneurs maximales entre 17 et 18 µg/l en octobre. Le pic à 26 µg/l observé le 14 octobre en F1 paraît anormal. Les teneurs normalement attendues, comparativement à ce qui est observé sur les autres points contrôlés le même jour, seraient plutôt de l'ordre de 16 µg/l.

Ce pic coïncide avec la période de basses eaux, lorsque l'aquifère n'est plus alimenté par les pertes des ruisseaux. Il disparaît lors de la reprise des écoulements superficiels début décembre, pour retrouver des valeurs comprises entre 3 et 7 µg/l. L'accroissement des teneurs est donc associé aux eaux des réserves contenues dans l'aquifère oligocène. Il s'agit d'un apport lié aux caractéristiques géochimiques du réservoir, et non pas à une pollution d'origine anthropique.

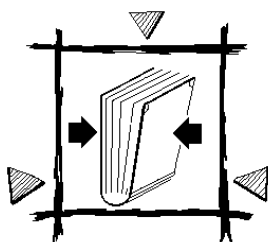
D'autres captages en France présentent cette particularité. Il s'agit essentiellement de captages situés dans le bassin et concernant des aquifères en lien avec des formations tertiaires. Selon une étude menée par le BRGM (Rapport BRGM/RP-60061-FR, juillet 2011), la source du Sélénium proviendrait de dépôts continentaux ou fluviatiles le plus souvent constitués de sables et graviers plus ou moins argileux et riches en matières organiques et en pyrite (sulfure de fer). Le Sélénium serait associé à la matière organique. Sa libération surviendrait au moment où la matière organique serait soumise à l'oxydation du fait d'un dénoyage de la formation aquifère, ou d'un soutirage par drainance ascendante d'aquifères sous-jacents.

Dans le cas du bassin de Saffré, on est effectivement en présence de formations géologiques tertiaires analogues, avec des horizons riches en matière organique et pyrite. Ainsi sur la coupe du forage Montavon (= F 1), on rencontre différents horizons susceptibles de pouvoir libérer du Sélénium :

- à la base de la série : les sables lutétiens (Eocène) du Bois Gouët qui renferment des niveaux d'argiles noires à pollen et débris végétaux ;
- une puissante série argileuse (Bartonien/Stampien), riche en pyrite dans sa partie supérieure, qui renferme 7 niveaux d'argiles grises à noires contenant des débris végétaux dont l'épaisseur varie entre 2 et 17 m ;
- au sein des calcaires oligocènes (Stampien supérieur) un niveau de calcaires marneux blancs à silex et débris végétaux de 9 m d'épaisseur est signalé ;
- au dessus des calcaires aquifères des passées de calcaires marneux et d'argiles grises à débris végétaux sont aussi présents.

Cette analogie avec les observations faites sur des captages du bassin parisien exploitant des aquifères tertiaires où l'origine du Sélénium a été démontrée plaide donc en faveur d'une origine naturelle de cet élément dans les eaux captées à Saffré.





## 5 - SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE

### 5.1 - L'AQUIFÈRE DES CALCAIRES OLIGOCÈNES

#### 5.1.1 - EXTENSION DE L'AQUIFÈRE

Les investigations géophysiques ont montré que l'aquifère calcaire exploité pour les besoins du SIAEP de Nort-sur-Erdre n'existe pas sur toute l'étendue du bassin tertiaire (Fig. 16). La présence de failles à l'Est et au Nord-Est du bourg de Saffré, font en effet remonter à l'affleurement le substratum imperméable de l'aquifère constitué par les argiles de la base de la série. Dans la partie centrale du bassin, délimitée par les quatre principales failles, l'aquifère est surmonté par un ensemble imperméable à dominante marneuse dont l'épaisseur augmente vers le Sud - Sud-Est. Leur puissance est de l'ordre de 5 m au sud de la faille passant au Nord-Est du bourg, et dépasse 30 m au droit des captages AEP. Leur épaisseur maximale serait rencontrée au sud de l'ancienne ferme du Rocher.

Dans la partie ouest et sud-ouest du bassin les calcaires sont proches de la surface, mais n'affleurent pas pour autant au sein de la zone étudiée. Ils sont surmontés le plus souvent par des sables pliocènes dont l'épaisseur est très variable. Celle-ci n'excède pas 6 à 8 m au Sud-Ouest et aux abords d'Augrain, mais peut atteindre 15 à 20 m et même plus du côté du Jarrier. Dans les secteurs de la Chutenaie et d'Augrain, les calcaires sont surmontés par des argiles à silex. Généralement, ces calcaires paraissent altérés à leur partie supérieure et transformés en marnes blanchâtres. Le long de la route de Grandchamps-des-Fontaines, au Sud du bourg, existe un couloir faillé d'environ 150 à 200 m de large où les calcaires sont surmontés par une dizaine de mètres d'argiles et de marnes peu consolidées.

Selon les données de la carte géologique de Nort-sur-Erdre, la limite d'extension des calcaires vers l'Ouest et le Sud-Ouest passerait approximativement par le Moulin Mortraie, La Périnais, puis au Sud de la Morhonnaie et de la Rinais. Au-delà ce sont les argiles oligocènes constituant la partie inférieure de la série oligocène qui affleurent. A l'Enfeu, les calcaires reconnus en forage ont encore une épaisseur de 22 m.

L'étude géophysique n'a pas reconnu la limite nord d'extension des calcaires oligocènes. D'après la carte géologique de Nort-sur-Erdre, il semblerait que les faciès calcaires disparaissent vers le Nord au profit des horizons marno-calcaires constituant le haut de la série sédimentaire oligocène. En effet dans toute la partie nord du bassin, ces niveaux marno-calcaires reposent directement sur les argiles que l'on retrouve normalement en dessous des calcaires. Ce contact entre marno-calcaires et argiles passerait entre les fermes de la Maison Neuve et du Pas Sicard, puis plus à l'Est entre celles du Souchais et du Houssais.

Dans la partie nord du bassin, il semble que les calcaires ont été entaillés par une vallée assez profonde comblée ensuite par les dépôts sableux pliocènes. En effet d'importantes épaisseurs de sables (> 15 à 20 m) ont en effet été rencontrées en forage à l'angle sud-ouest du stade ainsi qu'au Sud et au Sud-Est du Jarrier.

### 5.1.2 - FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE

Les pertes des cours d'eau traversant le bassin de Saffré (Ruisseau de Puceul, Pas-Sicard, Apsiguais et Isac) constituent la principale source d'alimentation de l'aquifère. Lorsque leur débit à l'entrée du bassin est suffisant, ces pertes compensent largement les prélèvements AEP et l'écoulement des ruisseaux en surface est continu. Il y a rupture d'écoulement dès lors que le débit d'alimentation des pertes est inférieur au débit prélevé dans l'aquifère, principalement en l'occurrence celui des captages AEP.

Lorsque le débit d'alimentation de l'aquifère (pertes essentiellement) devient inférieur à celui des sorties de l'aquifère (pompages AEP principalement), le niveau de la nappe commence à baisser. A l'absence d'alimentation des pertes, cette baisse est quasi linéaire (Fig. 30 et 31). C'est aussi ce qui a été constaté lors de l'essai de pompage d'octobre 2011 (Fig. 23). Ce comportement indique que l'aquifère n'est pratiquement pas alimenté en période de basses eaux. Le suivi de la conductivité de l'eau vient confirmer ce point. Sur la chronique examinée, aucune signature de la recharge directe par les précipitations tombant sur l'impluvium n'est perceptible (Fig. 46). On en déduit que l'infiltration directe des précipitations sur les zones d'affleurement des calcaires est un mode d'alimentation de l'aquifère négligeable. Cette recharge se fait vraisemblablement de façon différée dans le temps.

Le seul exutoire naturel connu de l'aquifère calcaire est localisé dans le lit vif de l'Isac en aval de la Chutenaie, dans le secteur où existait par le passé le fameux gouffre du même nom cité par les historiens locaux. Cet exutoire fonctionne en réalité tantôt en perte, tantôt en émergence, en fonction de l'état de charge de la nappe par rapport à la cote du fil d'eau de l'Isac (Fig. 34). Curieusement il est situé bien en amont de la zone où l'on aurait pu classiquement s'attendre à le trouver ; c'est-à-dire entre la Morhonnaie et la Rinais, là où l'Isac recoupe la limite aval des affleurements calcaires. C'est sans doute le signe que les écoulements souterrains au sein des calcaires de la partie sud-ouest du bassin sont très peu développés. Ces derniers sont en revanche mieux développés au droit des zones faillées majeures qui sont empruntées par les écoulements superficiels.

Ainsi au cours d'un cycle hydrologique peut-on discerner deux principales phases de fonctionnement de l'aquifère :

- en période de hautes à moyennes eaux, le niveau de la nappe reste assez stable car il est soutenu par les apports des cours d'eau. Il est très proche de la surface du sol et oscille de quelques dizaines de centimètres autour de la cote 23,50 m NGF. Les pompages ne font alors pas baisser la nappe de manière significative. Le « trop-plein » de la nappe s'évacue alors par les résurgences situées dans le lit de l'Isac.

- en période de basses eaux pendant laquelle les rivières sont asséchées et où la nappe n'est pratiquement plus alimentée. Les pompages interfèrent directement sur le niveau de l'aquifère qui baisse régulièrement. Au cours de cette période, l'abaissement régulier a conduit à descendre le niveau de la nappe jusqu'à une cote de 17 m NGF en 2011, soit 6,5 m en dessous du niveau moyen de la nappe en moyennes eaux.

Ajoutons, que le suivi piézométrique hebdomadaire effectué sur plusieurs ouvrages ne captant pas directement la nappe des calcaires oligocènes, mais la nappe contenue dans les sables pliocènes au Nord (Pz 30) et au Nord-Ouest du bourg de Saffré (Pz 9 et Pz 7) montre que la dépression générée en basses eaux par les prélèvements AEP s'étend également à la nappe des sables pliocènes. Dans tout le secteur nord, la nappe des sables est donc en relation hydraulique avec celle des calcaires et contribue à son alimentation, particulièrement en période de basses eaux.

### 5.1.3 - INFLUENCE DES POMPAGES AEP

L'influence des pompages journaliers discontinus sur les fluctuations de niveau de la nappe est relativement modeste. Elle est de l'ordre de la dizaine de centimètres à 500 m des puits de pompage et de seulement 3 à 4 cm au-delà de 800 m. L'extension de cette zone d'influence est de l'ordre de 1 000 à 1 200 m (cf. § 4.3.4.2).

En revanche, l'incidence cumulée des pompages journaliers durant toute la période d'assèchement des cours d'eau peut engendrer une baisse globale de 6 à 7 m du niveau de la nappe (Fig. 30 et 31). Cet abaissement peut même être supérieur les années où la période d'assèchement est plus longue, ou les années où les volumes prélevés ont été plus importants.

Ainsi les prélèvements AEP sont responsables d'une baisse annuelle de la nappe de plusieurs mètres en dessous du niveau naturel de celle-ci en basses eaux, par rapport à l'époque où aucun prélèvement n'était fait sur celle-ci. A cette époque, le niveau de la nappe devait en effet se trouver légèrement en dessous de la cote du fond du lit de l'Isac.

Selon le récit d'Alcide Leroux en 1909 à propos du gouffre de la Chutenaie, « *dans les années de sécheresse, le niveau baissait sensiblement et l'eau ne s'écoulait plus par le canal ; mais à ce moment, en général, la rivière d'Isac elle-même était à sec depuis plusieurs semaines ; car, en cet endroit, ... ce cours d'eau est ordinairement à sec pendant une partie de l'été, c'est-à-dire pendant deux à trois mois* ». Un niveau d'eau subsistait tout au cours de l'été dans le gouffre dont la profondeur était évaluée à une quarantaine de mètres.

### 5.1.4 - RESERVES DE L'AQUIFERE

En l'absence d'écoulement dans les rivières, le réservoir calcaire se vidange de façon régulière au rythme des prélèvements AEP. Ce réservoir n'étant plus alimenté, il se vidange à rythme moyen de baisse évalué à 4,66 cm par jour sur la période de basses eaux 2012 (Fig. 49).

La pente de la droite de descente est directement tributaire du volume prélevé dans la nappe. Connaissant les volumes AEP prélevés au cours de cette période, il devient alors possible d'estimer les capacités de stockage d'eau dans le réservoir calcaire.

Ainsi sur la période comprise entre le 19 juin et le 11 septembre, 439 939 m<sup>3</sup> ont été pompés dans l'aquifère à partir des deux captages F1 et F2 de Saffré. Ce prélèvement a provoqué une baisse du niveau de la nappe en Pz 2 de 3,91 m, soit une baisse journalière moyenne de 4,66 cm/j.

**Nous en déduisons qu'en période d'étiage (cours d'eau asséchés), le réservoir calcaire est capable de produire 112 500 m<sup>3</sup> d'eau pour un abaissement du niveau de la nappe en Pz 2 de 1 m.** Sachant par ailleurs que la cote à partir de laquelle le comportement de la nappe devient indépendant des rivières est aux alentours de 22,9 m en Pz 2 (respectivement 25,30 m en Pz 5), il devient possible d'évaluer le volume qu'il sera possible de prélever dans l'aquifère avant que le niveau de la nappe n'atteigne une cote limite donnée.

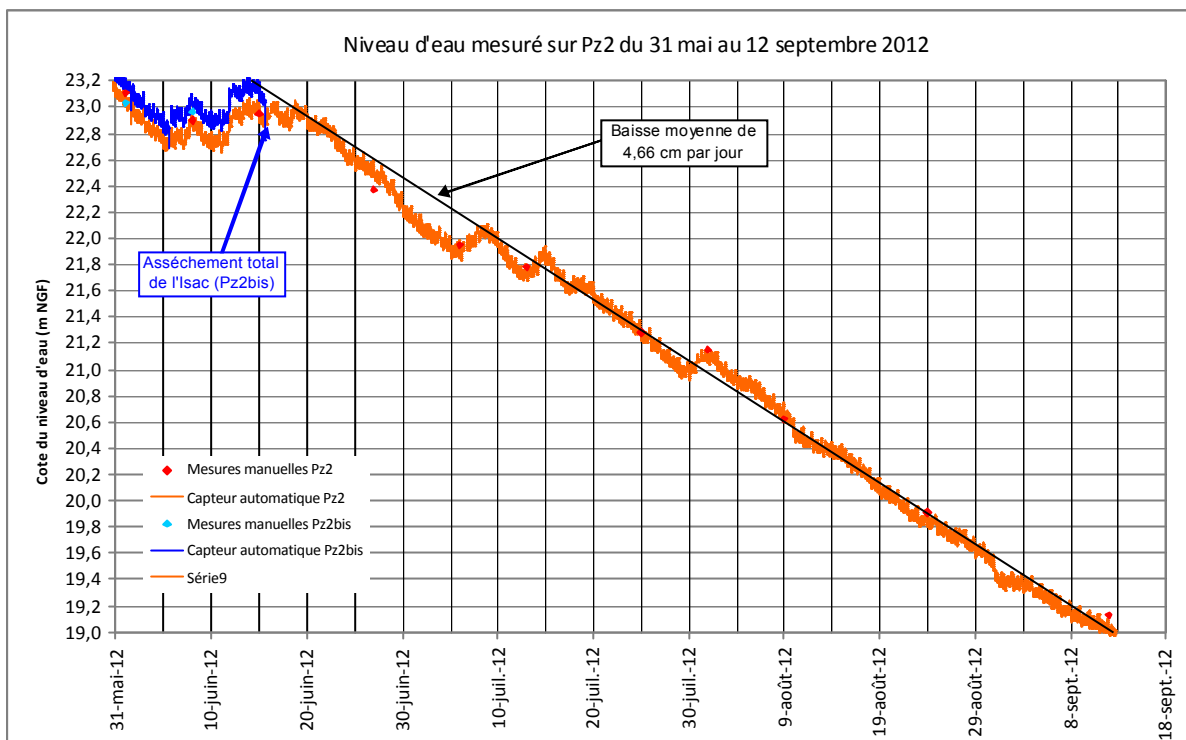


Figure 49 : Evolution du niveau piézométrique sur Pz 2 au cours de l'été 2012

De la même façon, connaissant la date à laquelle la cote d'assèchement des cours d'eau a été franchie, il devient possible de prédire à quel moment une cote donnée sera atteinte compte tenu du débit d'exploitation des captages envisagé.

Cette approche menée à partir des mesures piézométriques enregistrées en Pz 2 sur la période d'étiage 2011, mériterait d'être affinée en effectuant ce même calcul au cours de plusieurs cycles hydrologiques. Elle pourrait être faite de la même façon à partir du piézomètre de référence de la nappe de Saffré (Pz 5) pour lequel on dispose d'une chronique piézométrique de près de 20 ans. Toutefois ce piézomètre atténue manifestement les amplitudes réelles de fluctuation de la nappe, mais il semble toutefois représenter fidèlement l'allure générale des fluctuations saisonnières (cf. § 5.3.3).

## 5.2 - DEGRE DE KARSTIFICATION DE L'AQUIFERE

Les manifestations karstiques reconnues sur le bassin de Saffré sont très ténues et loin de s'apparenter à un relief karstique abouti (Fig. 13). Aucun développement d'un exo-karst (relief karstique de surface) au droit des zones où les calcaires oligocènes affleurent n'est distinguable. En ce qui concerne l'endo-karst (manifestations karstiques en profondeur), une cavité karstique est relatée en bibliographie dans le secteur des Ormes. Elle aurait été mise à jour à l'occasion de terrassements, mais n'a donné lieu à aucune description ni aucune exploration.

Les principales manifestations karstiques se limitent à des pertes temporaires dans le lit des cours d'eau et à l'existence épisodique d'effondrements de taille métrique à plurimétrique qui sont assez fréquemment associés aux zones de perte (annexe 3). Les quelques conduits découverts à l'occasion des travaux de rebouchage des effondrements, n'ont en effet pas permis de mettre à jour des cavités visitables par l'homme.

Ainsi, à l'exception de l'ancien « gouffre insondable de la Chutenaie », aucune autre cavité de grande ampleur n'a été décrite dans le bassin de Saffré.

Par ailleurs le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère tel qu'il a pu être appréhendé à partir des enregistrements piézométriques et de l'analyse des données de conductivité de l'eau prélevée sur les captages, n'est pas représentatif d'un aquifère très karstifié (cf. § 4.7.1).

Il faut en conclure qu'à l'échelle du bassin de Saffré le degré de karstification des calcaires oligocènes n'est pas très poussé, la karstification se développant essentiellement au droit des zones fracturées en contact avec les écoulements superficiels, à l'aplomb desquelles apparaissent des pertes. Lors de travaux d'assainissement à Augrain, des calcaires fissurés et affectés par la dissolution ont été observés en fond de fouille (annexe 3)

## 5.3 - LES EFFONDREMENTS

### 5.3.1 - LOCALISATION

Les informations sur les effondrements recensés par le SDAEP de Loire-Atlantique et par la municipalité de Saffré ont été collectées et reportées sur un fond carte afin d'obtenir une vision aussi exhaustive de leur localisation et de leur densité (Fig. 50). Sur cette carte ont été reportées également les principales failles mises en évidence par la géophysique.

On constate que la localisation des effondrements n'est pas aléatoire à l'échelle du bassin de Saffré. Ils n'apparaissent que dans certains secteurs et leur densité est particulièrement élevée à proximité des failles principales qui bordent le compartiment le plus effondré à l'Ouest et à l'Est. C'est d'ailleurs le long de ces deux structures qu'ont pris place les écoulements superficiels de l'Isac et du Pas-Sicard. C'est également dans ces zones que sont situées les pertes de ces cours d'eau :

- au Sud du bourg de Saffré, le long de l'Isac ;
- au Sud de la Chutenaie, de part et d'autre de la route allant à la Rinais ;
- au Sud-Est d'Augrain et le long du Pais-Sicard en amont d'Augrain.



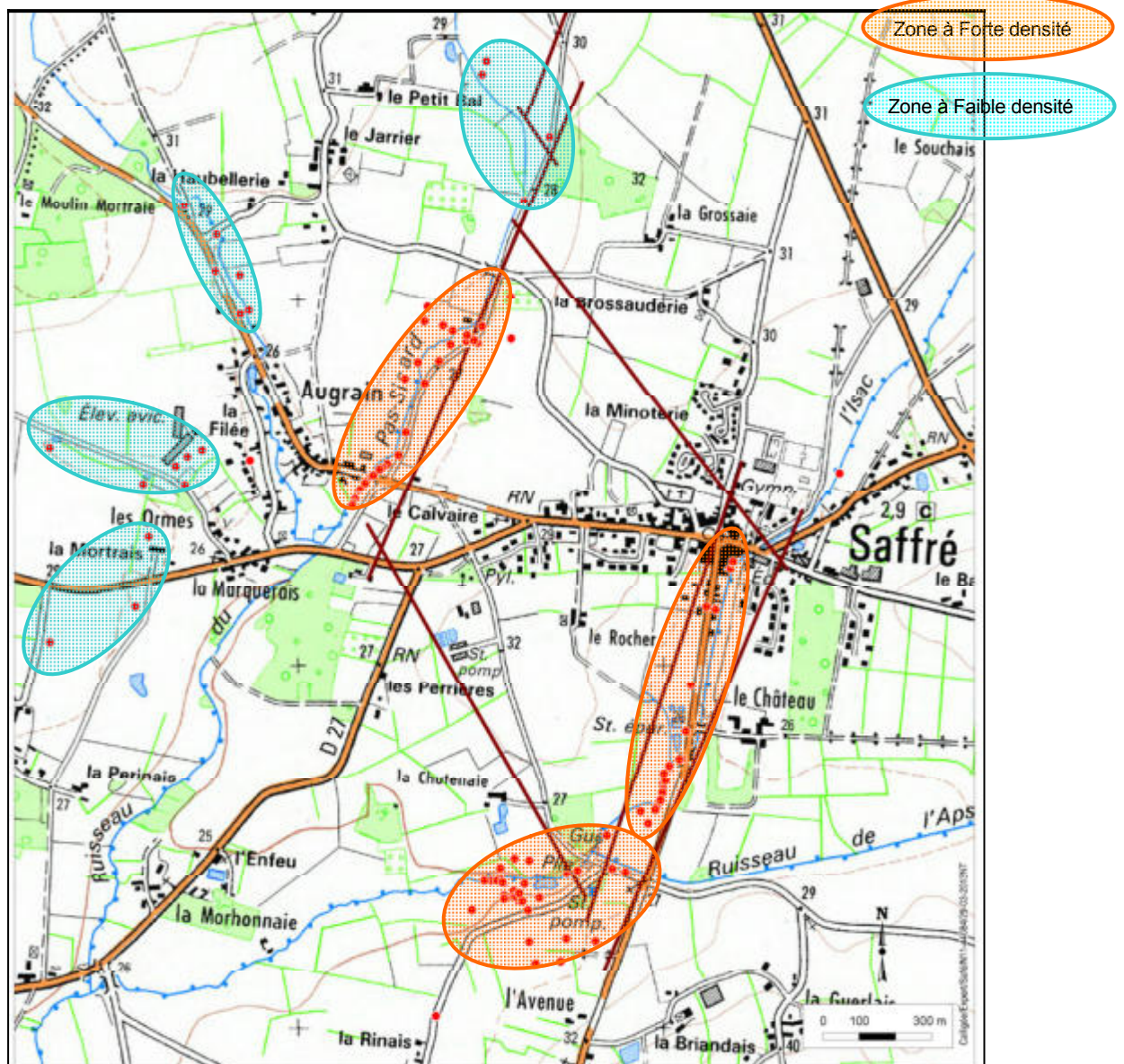


Figure 50 : Localisation des effondrements recensés comme tels à Saffré

En périphérie nord et ouest du bassin, apparaissent aussi quelques zones où les effondrements sont répertoriés, mais avec une densité nettement plus faible. On distingue :

- la partie amont du Pas-Sicard ;
- le long du ruisseau de Puceul en amont d'Augrain où se produisent des pertes ;
- le secteur des Ormes où une véritable cavité karstique a été signalée ;
- un secteur au Sud de la Mortrais.

Au regard de cette localisation il en est déduit que les contextes les plus propices au développement de ces effondrements conjuguent les éléments suivants :

- présence des calcaires à faible profondeur ;
- présence de faille ;
- existence d'un écoulement superficiel avec des pertes ;
- calcaires surmontés par des terrains meubles, généralement sablo-graveleux.

Ces effondrements apparaissent généralement en automne au moment de la période de recharge de l'aquifère.

*Remarque : tous les points recensés sur la carte ne sont pas nécessairement des effondrements en lien avec un phénomène karstique. Certains peuvent correspondre à d'anciennes extractions de pierres pour alimenter les fours à chaux. Un point à la Filée s'est avéré résultant de l'effondrement d'un puisard. Un autre est indiqué le long de l'Isac à l'Est du stade, dans un secteur où les calcaires ne sont pas présents.*

### 5.3.2 - MECANISME DE FORMATION

A la lumière des connaissances acquises sur la géologie du bassin de Saffré, sur le fonctionnement hydrodynamique de la nappe contenue dans les calcaires marins oligocènes et de l'inventaire des effondrements connus, il devient possible d'avancer une hypothèse plausible sur le mécanisme de formation de ces effondrements :

- au droit des zones de perte des ruisseaux, il se produit une dissolution très localisée des calcaires du fait des débits qui transitent. Cette dissolution permet l'élargissement des fractures affectant la masse calcaire, ce qui facilite l'écoulement des eaux souterraines en direction de leur exutoire qu'il soit naturel (zone de perte-émergence de l'Isac) ou artificiel (captages AEP) ;

- au moment de la recharge de l'aquifère, la reprise des écoulements provoque une remontée très rapide du niveau de la nappe. En 2012, celle-ci est remontée de plus de 6 m en quelques jours. Le stock d'eau prélevé sur les réserves de l'aquifère en étiage est très vite reconstitué et le niveau de la nappe est à nouveau à l'équilibre avec le niveau des écoulements superficiels ;

- l'eau qui s'engouffre dans le réservoir calcaire en partie vidé au cours de l'été, prend la place de l'air qui occupait les différentes voies d'écoulement dénoyées. L'air est chassé à l'interface entre toit des calcaires et la couverture meuble pliocène qui les recouvrent. Mais il ne peut s'échapper au niveau pertes puisque celles-ci sont totalement saturées par l'eau qui réalimente l'aquifère ;

- la remontée du niveau de l'eau dans le réservoir calcaire va alors contribuer à comprimer l'air qui va chercher à s'échapper à travers les formations sablo-graveleuses meubles. Cette interface a pu également être fragilisée par l'érosion de la partie basale des dépôts pliocènes sous l'effet de la circulation des eaux souterraines et des fluctuations du niveau de la nappe (suffosion) ;

- sous l'effet de la pression de l'air, la couverture meuble va localement se trouver déstructurée. Ce phénomène va alors favoriser l'expulsion de l'air vers la surface. Une fois l'air expulsé, l'effondrement se produit.

C'est donc le phénomène de recharge très rapide de l'aquifère qui est à l'origine des effondrements. Il s'agit d'un phénomène naturel qui se trouve cependant amplifié du fait de l'exploitation de la ressource en eau pour les besoins AEP. En effet ce sont les pompages qui contribuent à abaisser de plusieurs mètres le niveau de la nappe sous le niveau naturel des écoulements superficiels (environ 6 m en 2011). Ce phénomène a pu être observé localement au niveau du puits P 5 lors de la crue du 16 décembre 2011 ([annexe 3, Photo 16](#)).

Toutefois ce phénomène n'est pas forcément récurrent chaque année. Cela dépend en effet de la manière dont la remise en eau des cours d'eau se fait. Si celle-ci se fait de façon progressive à la suite d'épisodes pluvieux espacés dans le temps, le risque d'effondrement est nettement atténué car l'air a le temps de s'échapper par les pertes lorsque celles-ci ne sont pas actives.

### 5.3.3 - MESURES PREVENTIVES

Il est impossible d'éviter l'apparition de ces effondrements qui résultent d'un processus qui reste à l'origine naturel. Cependant il est possible d'en atténuer les effets en cherchant à réduire la mise en pression de l'air chassé par l'eau au moment de la recharge automnale.

Deux pistes sont envisageables :

- d'une part, mieux gérer l'exploitation des captages pour éviter un abaissement trop important du niveau de la nappe en période de basses eaux, en réduisant par exemple les prélèvements en été sur les captages de Saffré, tout en gardant présent à l'esprit qu'il s'agit d'un exercice délicat puisque c'est la période où les besoins en eau sont les plus importants ;
- d'autre part, il faut favoriser l'expulsion de l'air au moment de la recharge par la mise en place de cheminées de décompression. Plutôt que de reboucher systématiquement les effondrements qui se produisent, il faudrait auparavant mettre en place un tube descendant si possible jusqu'au sommet des calcaires avant de remblayer. La réalisation à proximité des zones de pertes de petits forages descendus jusqu'au toit des calcaires pourrait également assurer cette fonction.

Pour mieux gérer l'exploitation de la nappe, il est indispensable de disposer d'un suivi en continu des niveaux d'eau de celle-ci. A cette fin, un piézomètre de référence (indice national : 04513X0085/PZ5) est suivi depuis une vingtaine d'année ([annexe 5](#)). Il fournit une indication sur les fluctuations saisonnières de la nappe des calcaires, mais ses fluctuations sont très atténuées par rapport au comportement réel de la nappe influencée par les prélèvements AEP :

- la remontée des niveaux de la nappe consécutive à la recharge 2010-2011 a été de 4 m sur ce piézomètre, tandis les piézomètres Pz 2 et Pz 6 enregistrent au cours de cette même période une hausse de l'ordre de 6,5 à 7 m ;

- le niveau le plus bas observé en 2012 en Pz 5 est seulement de 23,61 m NGF le 20 septembre, tandis qu'il atteignait 19,01 m NGF le 12 septembre en Pz 2 ;
- en Pz 5, ouvrage situé à une distance plus proche des captages AEP que les piézomètres Pz 2 et Pz 6, l'influence des pompages journaliers n'est pratiquement pas perceptible, alors que ceux-ci se traduisent par des fluctuations de l'ordre de 10 à 12 cm sur les deux autres piézomètres ;
- la baisse régulière de la nappe observée en étiage ces dernières années sur Pz 5 n'est en moyenne que de 2,4 cm par jour, alors qu'elle était en 2012 sur Pz 2 de 4,66 cm/j, soit près du double.

Ainsi ce piézomètre donne bien une idée des fluctuations relatives de la nappe d'une année sur l'autre, mais il ne fournit pas une représentation fidèle de l'état piézométrique de la ressource en eau exploitée pour les besoins AEP. D'autres ouvrages tels Pz 2, Pz 6, Pz 28 ou Pz 29 seraient mieux adaptés pour suivre l'évolution réelle de la nappe. Un colmatage partiel du Pz 5 peut être invoqué pour expliquer en partie cette différence de comportement. Mais l'explication la plus probable est à rechercher dans la structure même de l'aquifère calcaire : le piézomètre Pz 5 est implanté à l'écart de la zone faillée délimitant le compartiment le plus effondré du bassin de Saffré. Il se trouve donc mal connecté au réseau principal de drainage de l'aquifère qui est implanté sur les zones fracturées, là où se développe principalement la karstification des calcaires (cf. § 5.2).

Un changement de piézomètre de référence serait donc souhaitable. Dans cette perspective, il serait néanmoins nécessaire de suivre durant plusieurs années en parallèle l'évolution piézométrique mesurée sur le nouveau point retenu et sur le Pz 5 (piézomètre actuel de référence) afin de bien établir la corrélation entre les niveaux des deux piézomètres dans l'optique de reconstituer la chronique antérieure du nouveau piézomètre à partir de la chronique disponible depuis bientôt 20 ans en Pz 5.

## 5.4 - CARTE DES RISQUES D'EFFONDREMENT

### 5.4.1 - CRITERES RETENUS

Avant d'établir une cartographie du risque d'effondrement, une grille d'évaluation de ce risque a été préalablement élaborée en fonction de différents critères à prendre en compte. Les critères retenus découlent directement de l'analyse du contexte hydrogéologique propice au développement de ces effondrements. Par ordre de priorité, il s'agit des cinq critères suivants :

- *critère lithologique* : la présence dans le sous-sol de la formation aquifère des calcaires oligocènes est indispensable. Deux cas sont distingués, selon que ces calcaires se trouvent à faible ou à plus grande profondeur ;
- *critère objectif* : existence ou absence d'effondrements recensés dans l'inventaire qui a été établi (Fig. 50) ;
- *critère structural* : présence ou non d'une faille majeure mise en évidence par l'étude de synthèse géologique du bassin (Fig. 16) ;

- *critère hydrologique* : existence ou non en surface d'un écoulement superficiel (Isac, Pas-Sicard, Ruisseau de Puceul, Apsiguis) ;
- *critère de couverture* : présence ou absence d'un recouvrement perméable à dominante sableuse au dessus des calcaires.

Le croisement de ces cinq critères permet d'aboutir à une grille d'évaluation retenant 3 types de risques (Tab. 9) ;

- un risque nul correspondant aux secteurs où les calcaires aquifères sont absents dans le sous-sol, ou bien sont présents à une profondeur supérieure à 10 m et surmontés par des terrains peu perméables où les faciès sableux sont négligeables ou absents ;
- un secteur à risque faible concernant les zones où les calcaires sont présents en profondeur et où aucun effondrement n'a été signalé. Il est faible aussi dans les secteurs où, bien que ponctuellement un effondrement ait été signalé, aucun des trois autres critères nécessaires n'est rempli ;
- un secteur à risque fort correspondant avant tout à des secteurs où l'existence de plusieurs effondrements est avérée, mais également des secteurs où aucun effondrement n'a été recensé, mais où plusieurs autres critères favorables existent.

**Tableau 9 : Grille d'évaluation du risque d'effondrement karstique à Saffré**

Présence de calcaires	Effondrements	Faïlle majeure	Cours d'eau	Recouvrement sableux	Risque									
à faible profondeur (< 10 m)	Oui	oui	oui	oui	Fort									
			non	non	Fort									
		non	oui	oui	oui	Fort								
				non	non	Fort								
			non	oui	oui	Fort								
				non	non	Faible								
	non	oui	oui	oui	oui	Fort								
				non	non	Fort								
			non	oui	oui	Faible								
		non		oui	Faible									
		non		non	Faible									
		à plus grande profondeur	Oui				Cas non rencontrés sur le bassin de Saffré							
non	oui													
											non	oui		
	non							Nul						
	Non							Pas de karstification en l'absence de calcaires	Nul					



### 5.4.2 - CARTE DES RISQUES D'EFFONDREMENT

L'application de la grille d'évaluation débouche sur une carte des risques d'effondrement karstique sur le bassin de Saffré (Fig. 51).

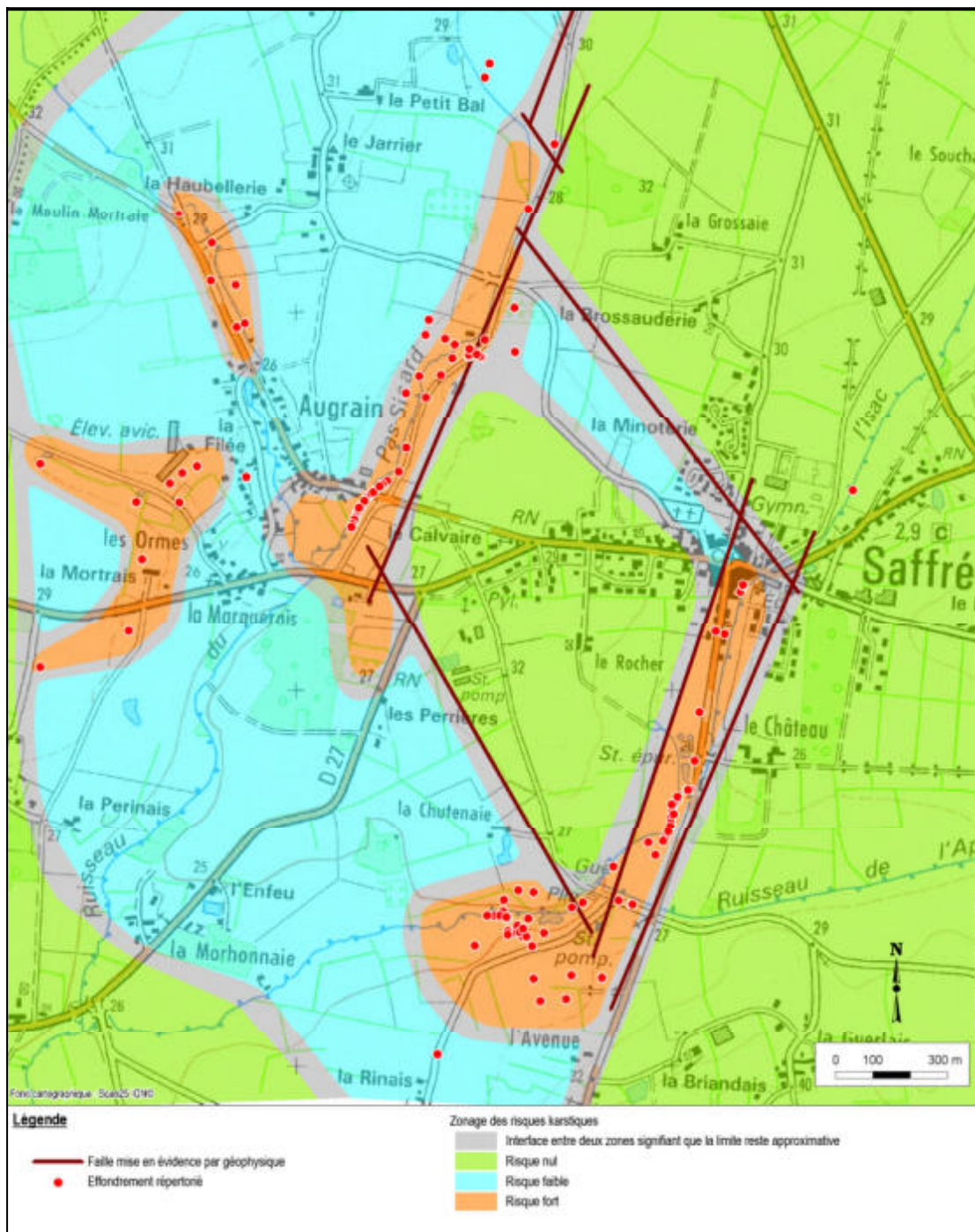


Figure 51 : Carte de zonage du risque karstique d'effondrement sur le bassin de Saffré

Dans cette carte il ressort que :

- les parties du bourg de Saffré situées à l'Est et au Nord-Est des failles principales délimitant le compartiment du bassin le plus effondré sont à risque nul ;
- la majeure partie du compartiment le plus effondré est à risque nul également en raison du recouvrement des calcaires par des formations argileuses ou marneuses suffisamment épaisses. Elle concerne toute la partie ouest du bourg ;
- toutes les zones où les calcaires sont présents à faible profondeur, mais où il n'y a pas d'effondrement recensé, ou d'enjeu par rapport à l'urbanisme sont classés à risque faible. La Marquerais, La Filée et la partie nord d'Augrain sont classés à risque faible dans la mesure où les calcaires sont recouverts par des marnes ;
- la bordure nord-est du compartiment le plus effondré où les calcaires sont rencontrés à faible profondeur et surmontés par des terrains plutôt sablo-graveleux a été classé à risque faible dans la mesure où aucun effondrement n'est recensé dans cette zone où se trouve notamment le cimetière de Saffré (Pz 15) et la Minoterie ;
- les zones à risque le plus fort longent les failles bordant à l'Est et à l'Ouest le compartiment central du bassin. Il s'agit du couloir faillé s'étendant au Sud du bourg le long du cours de l'Isac et se prolongeant en aval, au Sud de la Chutenaie. Il s'agit également du cours du Pas-Sicard en amont d'Augrain, de la partie sud d'Augrain et de sa prolongation en direction des Perrières. On retrouve aussi le cours du ruisseau de Puceul en amont d'Augrain, ainsi que les secteurs des Ormes et de la Mortrais où plusieurs effondrements ont été recensés.

A l'interface entre les différentes zones, une frange d'incertitude est indiquée pour signifier que la limite exacte entre deux zones ne peut être, compte tenu des informations dont on dispose, placée avec précision. Notamment le maillage général de la prospection géophysique qui a permis de localiser les failles (cf. Rapport Calligée N11-44084-A) étant de 100 m par 100 m, il est illusoire d'espérer obtenir une précision inférieure à 100 m sur le tracé de ces failles. En dehors de zones faillées, les limites reposent essentiellement sur l'extension des zones où des effondrements ont été signalés.

#### **5.4.3 - AUTRES RISQUES PRESENTS A SAFFRE**

Sur la commune de Saffré, des désordres affectant un certain nombre de constructions ont été signalés, dans le bourg notamment. Il ne faut pas en déduire pour autant que tous ces désordres soient la conséquence de phénomènes d'effondrement karstique. La nature des terrains constituant le proche sous-sol et leurs caractéristiques mécaniques qui en résultent sont en effet très variables à l'échelle du bassin. La dizaine d'études géotechniques réalisées dans le bourg et portées à notre connaissance sont là pour l'attester (cf. Rapport Calligée N11-44084-A, § 7.2). D'ailleurs, les investigations menées dans le cadre de ces études n'ont jamais permis de mettre en évidence la présence de vides karstiques.

Ces études géotechniques mettent notamment en évidence au moins deux autres causes qui peuvent être à l'origine de désordres affectant les habitations :

- des phénomènes de retrait-gonflement d'argiles, une grande partie du territoire de la commune de Saffré étant classée sur les cartes produites par le BRGM en zone à risque moyen par rapport à cet aléa. La présence de telles argiles a été démontrée sans ambiguïté par des essais en laboratoire sur une parcelle du centre bourg (maison de Mr Jaunasse) où le sous-sol est constitué par des marnes argileuses sur une épaisseur supérieure à 18 m ;
- la présence à proximité de la surface de terrains argileux ou marneux peu consolidés a été aussi prouvée en divers endroits par la mise en évidence d'anomalies gravimétriques couplée à la réalisation d'essais pressiométriques : couloir faillé au Sud du bourg, parcelle où est implantée l'usine des eaux notamment.

**Ainsi, en cas de constatations de désordres affectant des constructions il convient de se poser toutes les questions sur les causes susceptibles d'en être à l'origine, sans invoquer systématiquement les effondrements d'origine karstique. Ce questionnement sera d'autant plus nécessaire dans le cas où ces désordres sont constatés dans des zones classées à risque nul ou faible par rapport à l'aléa effondrement karstique.**

## **ANNEXES**

**Annexe 1 : Liste des documents consultés en bibliographie concernant le bassin d'effondrement de Saffré**

**Annexe 2 : Principales données géologiques et piézométriques concernant les captages AEP de Saffré**

**Annexe 3 : Exemples de gouffres, d'effondrements et de pertes observés sur le bassin d'effondrement de Saffré**

**Annexe 4 : Résultats des jaugeages sur les cours d'eau traversant le bassin de Saffré**

**Annexe 5 : Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires oligocènes de Saffré observées sur le piézomètre de référence (04513X0085/PZ5)**

## **ANNEXE 1 :**

**Liste des documents consultés en bibliographie concernant le bassin  
d'effondrement de Saffré**



## SIAEP DE NORT-SUR-ERDRE - Evaluation des zones à risque karstique, Saffré (44)

Thème	Origine / structure	Auteur	Date	Année	Intitulé étude - Contenu
Géologie	Thèse, Université de Paris	G. Vasseur		1881	Recherches géologiques sur les terrains tertiaires de la France occidentale (Première carte géologique du bassin de Saffré)
Hydrogéologie	Université de Rennes Institut de Géologie	Philippot	06/05/1949	1905	Rapport géologique (donnant un avis favorable pour des recherches d'eau sur le bassin de Saffré)
Histoire locale	Bull. Soc. Archéol. et Hist. de Nantes et de la Loire Inf., Tome 60 - Extraits			1909	Extrait décrivant la Fontaine Saint Pierre et les fours à Chaux exploités sur la commune de Saffré (pp. 54-55, 76-77)
Histoire locale	Bull. Soc. Archéol. et Hist. de Nantes et de la Loire Inf., Tome 60 - Extraits	A Leroux		1909	Extrait de l'article "L'époque néolithique aux Sources de l'Isac" décrivant la Gouffre de la Chutenaie (pp. 113 à 122)
Sondages	Génie Rural de Loire-Inférieure		29/01/1951	1951	Campagne de 7 sondages de recherche d'eau sur le bassin de Saffré (prof.: 26 à 112 m)
Géologie	Thèse d'Etat, Université de Rennes Mémoires Soc. Géol. et Minéral. de Bretagne (Tome XII)	S. Durand	29/01/1959	1960	Le Tertiaire de Bretagne - Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique (reprise des travaux de Vasseur et interprétation des sondages de 1951)
Sondages	Lafrage (recueillis sur Info-Terre)			1964-1966	Campagne de 21 sondages de reconnaissance de 17 à 151 m de profondeur dont deux seront transformés en forage d'exploitation pour l'AEP (S4 et S7)
Hydrogéologie du karst	Thèse d'Etat, Université de Dijon - Ann. Spéléol., T.29, 3 et 4 (1974), pp. 283-332, pp. 495-601, T. 30, 1 (1975), pp. 21-124	A Mangin		1975	Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques
Hydrogéologie	Département Sciences de la Terre Université de Nantes	JP Margerel	non daté	avant 1976	Rapport géologique sur le bassin tertiaire de Saffré (44) concernant la reconnaissance des ressources aquifères (synthèse des différentes campagnes de sondages antérieures)
Hydrogéologie du karst	2nd Coll. Hydrologie en Pays Calcaire, Ann. Sc. Univ. Besançon, Géologie, fasc. 25, série 3, pp. 263-273	A Mangin		1976	Les systèmes karstiques et leurs méthodes d'investigation
Hydrogéologie	Département Sciences de la Terre Université de Nantes	JP Margerel	12/07/1976	1976	Rapport sur l'étude concernant l'exécution d'un captage d'eau dans le bassin de Saffré (Reconnaissance des terrains de la couverture au moyen d'une cinquantaine de sondages à la tarière à main)
Hydrogéologie	Département Sciences de la Terre Université de Nantes	JP Margerel		1977	Etude géologique et hydrogéologique du bassin de Saffré (44) - Description de la coupe géologique du sondage Montavon foré jusqu'à 332 m de profondeur et synthèse du bassin
Pompages	Montavon			1977	Réalisation d'un pompage d'essai sur le forage Montavon en avril 1977
Hydrogéologie	Département Sciences de la Terre Université de Nantes	V Borne	1978	1978	Diplôme d'études approfondies de géologie appliquée - Etude d'un sondage profond dans le bassin tertiaire de Saffré (44) (Sédimentologie, Biostratigraphie, Paléoécologie)
Pompage et traçage	Région des Pays de la Loire		06/1978	1978	Notions d'ordre hydrogéologique déterminées à partir de l'essai de pompage réalisé sur un sondage à Saffré (L.A.) - Essai de pompage sur le forage Montavon transformé en ouvrage d'exploitation (actuel F1) et réalisation simultanée d'un traçage
Hydrogéologie	Département Sciences de la Terre Université de Nantes	JP Margerel	17/07/1978	1978	Etablissement d'un périmètre de protection dans le bassin de Saffré en vue d'une exploitation de la nappe aquifère
Hydrogéologie du karst	Thèse d'Etat, Université de Paris VI	M Bakalowicz		1979	Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification
Diagraphies	CPGF		06/12/1982	1982	Forage de Saffré (14) Diagraphies - Coupe géologique et diagraphies PS-Résistivité et gamma-ray sur un sondage de 119 m à l'Enfeu
Hydrogéologie du karst	Actes Coll. sur les milieux discontinus en hydrogéologie, Doc. BRGM n°45, pp. 317-321	A Mangin		1982	Détermination du comportement hydrodynamique des aquifères karstiques à partir de l'étude des informations fournies par leurs exutoires

## SIAEP DE NORT-SUR-ERDRE - Evaluation des zones à risque karstique, Saffré (44)

Thème	Origine / structure	Auteur	Date	Année	Intitulé étude - Contenu
Hydrogéologie du karst	Thèse d'Etat, Université de Besançon	J Mudry		1987	Apport du traçage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonatés
Forage F2	Seers et Sondalp		07/1990	1990	DDAF Nantes Forage A.E.P. La Chutenaie Saffré (44) - Coupe géologique et technique du captage F2 et essai de pompage par paliers
Diagraphies	G Pierson			1990	Diagraphies de Résistivité et gamma-ray effectuée après la réalisation du captage F2
Hydrogéologie	Bull. Soc. Géol. France, 1991, t. 162, n° 4, pp. 739-751	V Borne, JP Margerel, MF Ollivier-Pierre		1991	L'évolution des paléoenvironnements au Paléogène dans l'Ouest de la France. Le bassin de Saffré-Nort-sur-Erdre (Loire-Atlantique, France)
Piézomètres	Géoscop		06/1991	1991	Suivi de forages piézométriques et interprétation - Réalisation de 12 sondages dont 11 équipés en piézomètres (avec sondages électriques préalables) et premier inventaire des effondrements
Diagraphies	G Pierson		17/04/1991	1991	Département de Loire Atlantique Inspection caméra vidéo du forage de Saffré "La Chutenaie" (Forage d'AEP de 1977) le 17 avril 1991
Pompages	DDAF	Y Alix	08/1991	1991	Résultats des essais de pompage des captages de Saffré - Essais par paliers sur F1 et F2
Hydrogéologie	Lithologic	P Balé	11/1991	1991	Suivi des travaux d'aménagement de l'Isac et du comblement des karsts à Saffré (44)
Piézomètres	Lithologic	Y Georget	02/1992	1992	Mise en place d'un réseau piézométrique complémentaire (S.15 à S.21) Compte-rendu géologique et technique - Bassin tertiaire de Saffré (Loire-Atlantique)
Diagraphies	EPTS - Diasol		04/1992	1992	Diagraphies de contrôle sur le captage F2 (FDS et CBL)
Nettoyage forage	Sondalp service		04/1992	1992	Brossage et nettoyage par air-lift double du forage F2 à Saffré (44) travaux exécutés du 27 au 30.04.1992
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	04/1992	1992	1 - Rôle hydrogéologique de l'unité pliocène 2 - Rôle du réseau karstique dans le transfert des polluants potentiels vers les réserves aquifères - Bassin de saffré (44) (Réalisation d'un essai de pompage dans les sables pliocènes et d'un traçage sur le Pas-Sicard)
Acidification Forage	Sondalp Tours		05/1992	1992	Acidification et pompage du forage F2 à Saffré (44) Travaux exécutés du 11 au 19.05.1992
Diagraphies	G Pierson		20/08/1992	1992	Département de Loire-Atlantique (44) Forage de La Chutenaie SAFFRE EXAMEN CAMERA du 20 mai 1992
Diagraphies	G Pierson		24/08/1992	1992	Département de Loire-Atlantique (44) Nouveau forage de Saffré au lieu-dit "La Chutenaie" Inspection caméra du 9 avril 1992
Hydrogéologie Environnement	SCE Ingénieurs Conseils		02/1993	1993	Captage de Saffré - Etude des pollutions du bassin versant du Pas-Sicard - Suivi des débits du ruisseau de Puceul
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	04/1993	1993	Traçage à la fluorescéine résultats et conséquences bassin de Saffré (44) - Réédition du traçage effectué en avril 1992, après réalisation de travaux d'étanchéité du lit du ruisseau
Hydrogéologie	Conseil Général de Loire-Atlantique	Y Alix	05/1993	1993	Bassin tertiaire de Saffré et problèmes karstiques
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	03/1994	1994	Synthèse géologique et hydrogéologique du bassin tertiaire de Saffré (Loire-Atlantique)
Géotechnique	Simecsol	S. Gravelat A Desparmet	04 à 07/1994	1994	Etude Géologique, Géophysique et Géotechnique - Station de traitement d'eau potable des Perrières à Saffré (44)
Piézométrie	Conseil Général de Loire-Atlantique	Y Alix	07/1996	1996	Situation de la nappe du bassin tertiaire de Saffré au 15 juin 1996
Hydrogéologie	Géoscop		10/1997	1997	Réalisation de piézomètres à Nort-sur-Erdre et Saffré - Rapport de synthèse du suivi hydrogéologique (en remplacement des anciens piézomètres Pz6 et Pz9 à Saffré)
Hydrogéologie	Hydrogéologie, n°1, 1998, pp. 31-40 (Publié par BRGM)	A Freixes, M Monterde, J Ramoneda		1998	Température des eaux de sources comme caractéristique du comportement des aquifères karstiques - Exemples des Pyrénées centrales (NE Espagne)

Thème	Origine / structure	Auteur	Date	Année	Intitulé étude - Contenu
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	02/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	03/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 2) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	05/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 3) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	06/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 4) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	07/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 5) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	08/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 6) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Conseil Général de Loire-Atlantique	Y Alix	10/1999	1999	Résultats de l'essai de traçage sur la rivière de l'Isac - Bassin de Saffré
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	11/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 7) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Lithologic	Y Georget	12/1999	1999	Mesure de la température et de quelques autres paramètres des eaux de différents piézomètres (campagne 8) Bassin tertiaire de Saffré Département de Loire-Atlantique
Hydrogéologie	Conseil Général de Loire-Atlantique	Y Alix	12/1999	1999	Etude sur les variations des Températures des piézomètres du bassin de Saffré en 1999 essai de corrélation avec la Karstification
Piézométrie	Calligée	T Marguet, A Belkacémi, J Nikodic	03/2001	2001	Suivi Piézométrique des bassins sédimentaires - Basses eaux 2000 et Hautes eaux 2001 - Bassin de Saffré
Forage	Conseil Général de Loire-Atlantique		25/05/2004	2004	Forage de reconnaissance hydrogéologique à Saffré "Château"
Hydrochimie	Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, Vol. 42, n° 3, pp.65-69	L. Chéry, M Castrec-Rouelle		2005	Les occurrences de Sélénium dans les forages d'alimentation en eau de la Région Parisienne : origine et perspectives d'études
Géotechnique	CEBTP - Ginger	JP Vrignaud	20/06/2005	2005	Recherches de cavités karstiques - Commune de Saffré - Diagnostic géotechnique
Géotechnique	Arcadis	L Lecamp	04/2008	2008	Extension du restaurant scolaire, rue de la Fontaine Saint Pierre à Saffré - Etude géotechnique d'avant-projet
Géotechnique	Coulais Consultants	N. Brunet de Sairigné	12/2008	2008	Mosieur et Madame Tudoret - 6 Petite Rue à Saffré - Diagnostic Géotechnique G5
Géotechnique	Fugro Géotechnique SA	B Ricard	03/2009	2009	Etude diagnostic Géotechnique - 20, rue du Château à Saffré - Mission G5
Hydrogéologie	BRGM/RP-58502-FR	J Toutain	03/2010	2010	Synthèse sur les aléas liés aux cavités souterraines sur le territoire de la commune de Saffré (44) - Rapport final
Histoire locale	Bull. Municipal "Saffré-Infos"	JC Raux	11/2010	2010	Cite un extrait du Dictionnaire de Bretagne d'Ogée (1829), II Vol.,p.692 faisant état d'effondrements et de gouffres à Saffré
Hydrochimie	BRGM/RP-60061-FR	L. Gourcy	07/2011	2011	Synthèse opérationnelle de l'étude de l'origine du Sélénium et compréhension des processus dans les eaux souterraines du bassin Seine-Normandie - Rapport final
Hydrogéologie du karst	9 <sup>ème</sup> Colloque d'Hydrogéologie en Pays Calcaire - Université de Besançon - 1 <sup>er</sup> au 3 septembre 2011	P. Milonovic	09/2011	2011	Karst groundwater, impacts on infrastructure and construction - Conférence invitée
Géotechnique	AIS Centre Atlantique	Y Deboute, T Marchadier	18/11/2011	2011	Réhabilitation de l'ancienne école privée de Saffré (44) - Reconnaissance de sol
Géotechnique	Fondasol	JY Allain	21/03/2011	2011	Désordre sur Maison - M. et Mme Jaunasse à Saffré - Diagnostic Géotechnique G5
Géotechnique	Géotec	B Laurent	26/01/2012	2012	Bureau de la Poste - 6 rue de la Résistance à Saffré - Diagnostic Géotechnique G5

## **ANNEXE 2 :**

**Principales données géologiques et piézométriques concernant les captages  
AEP de Saffré**

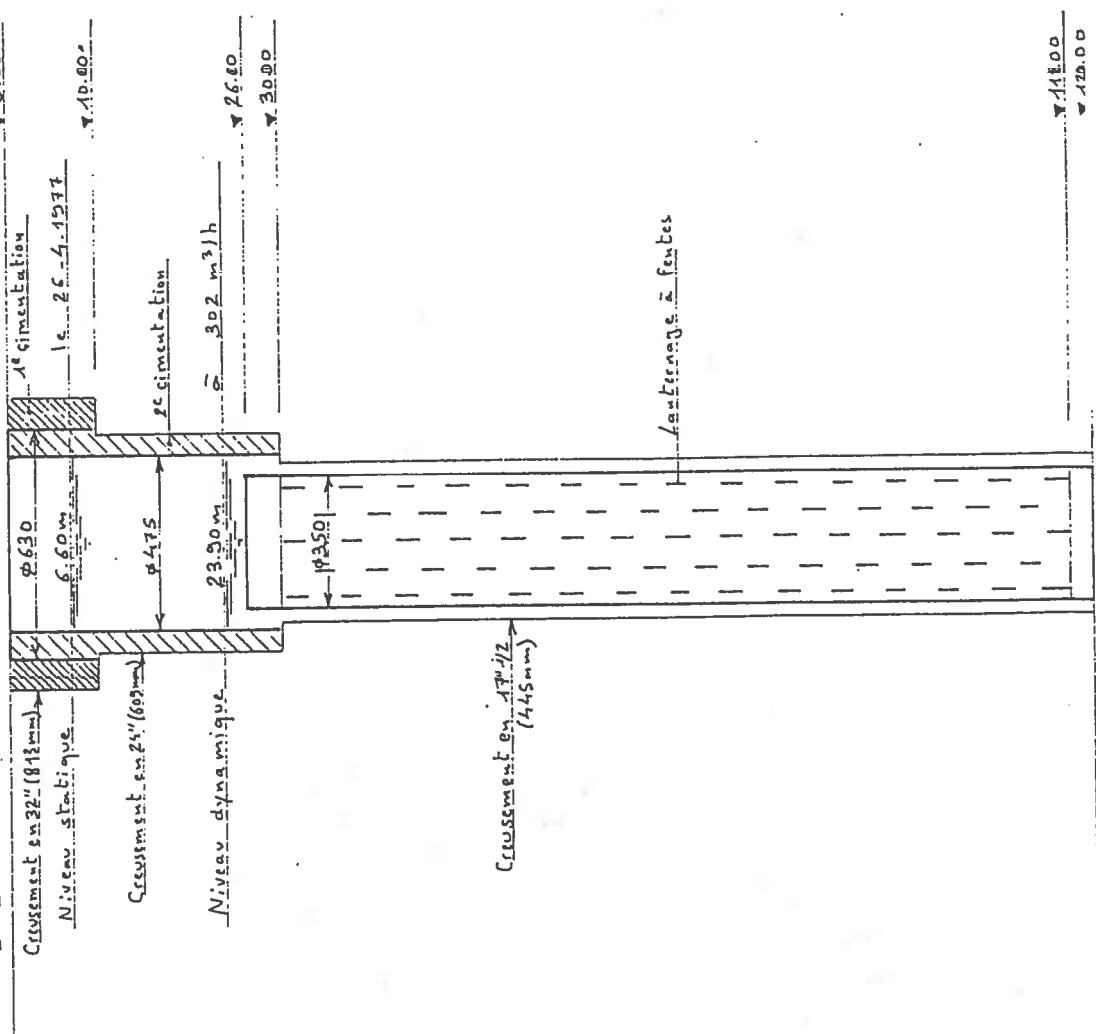
**(sources : SIAEP de Nort-sur-Erdre, Conseil Général 44)**

S.I. de la Région de Nört\_sur\_Erdre

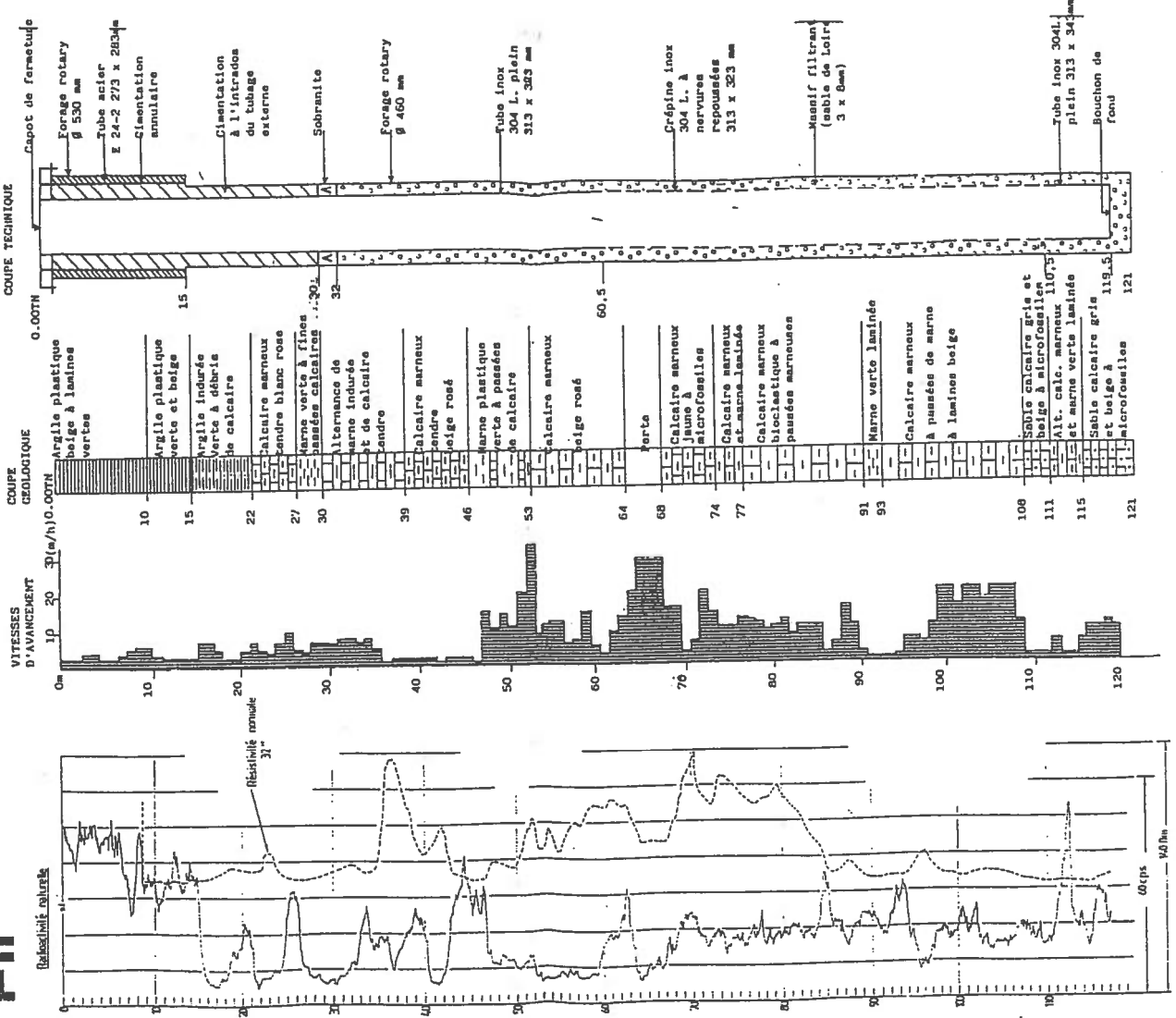
Loire\_Atlantique

Forage de SAFFRE

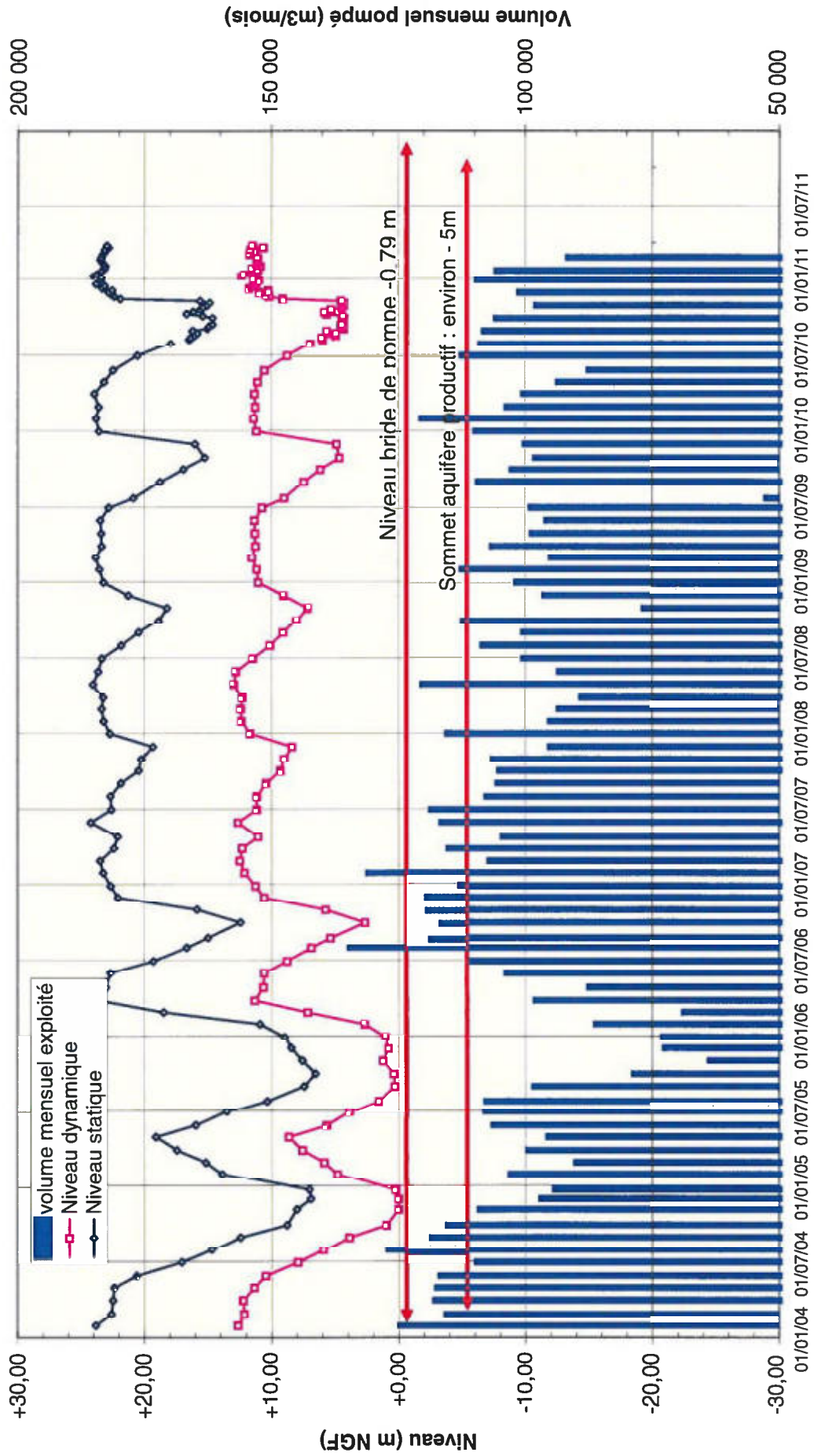
**FI**



**FI**

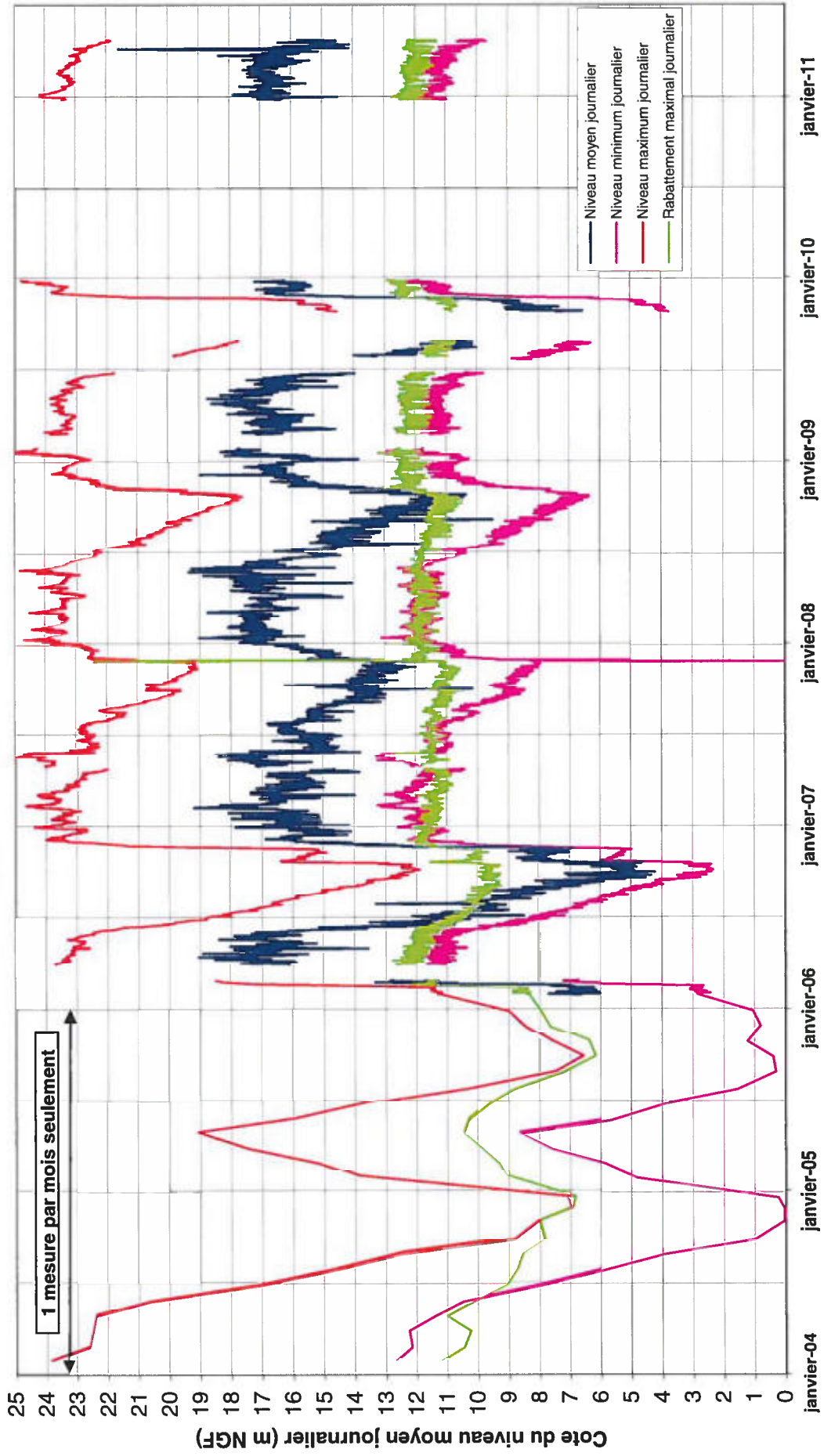


# Captage d'eau potable de SAFFRE - Forage F1

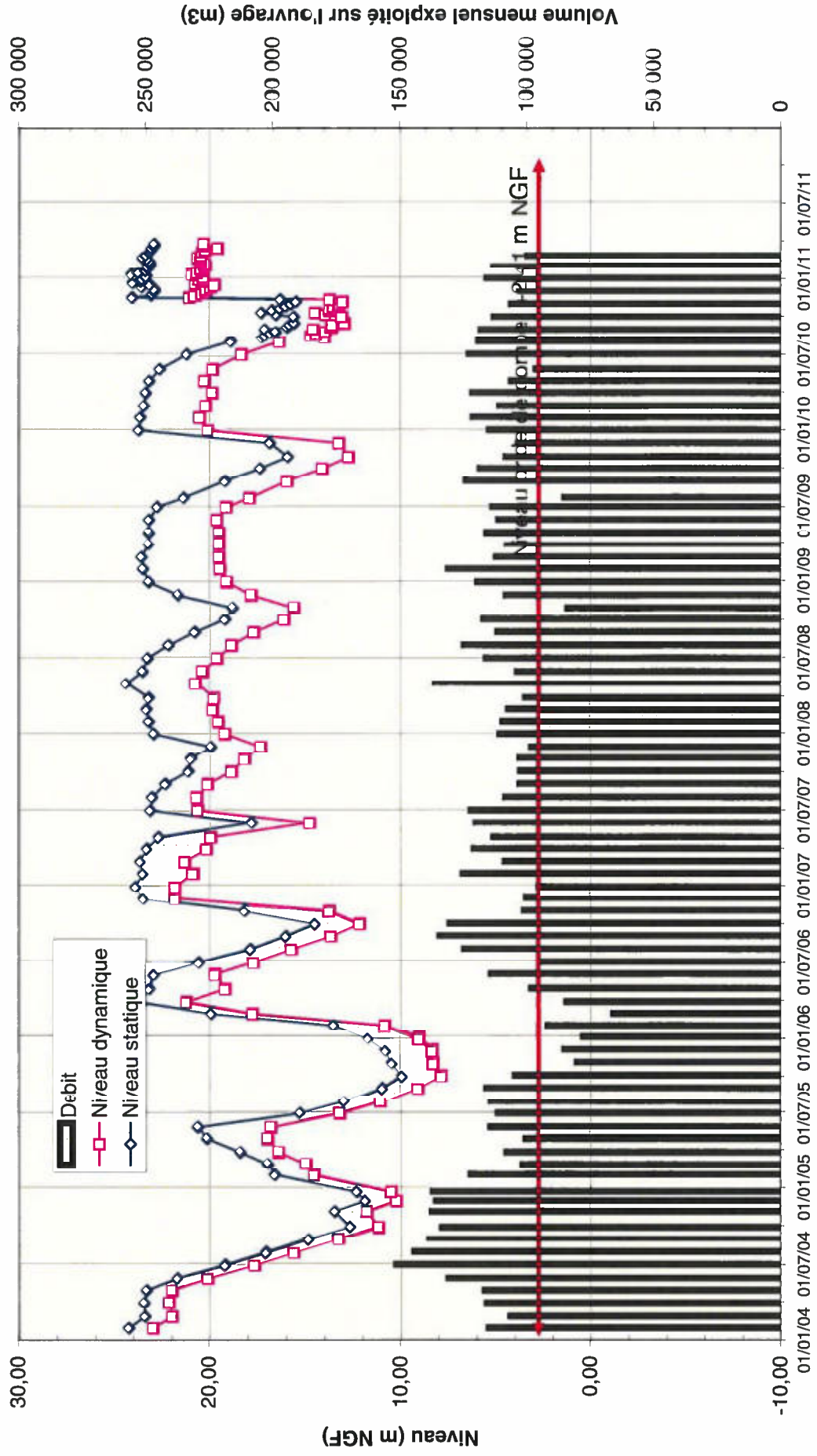




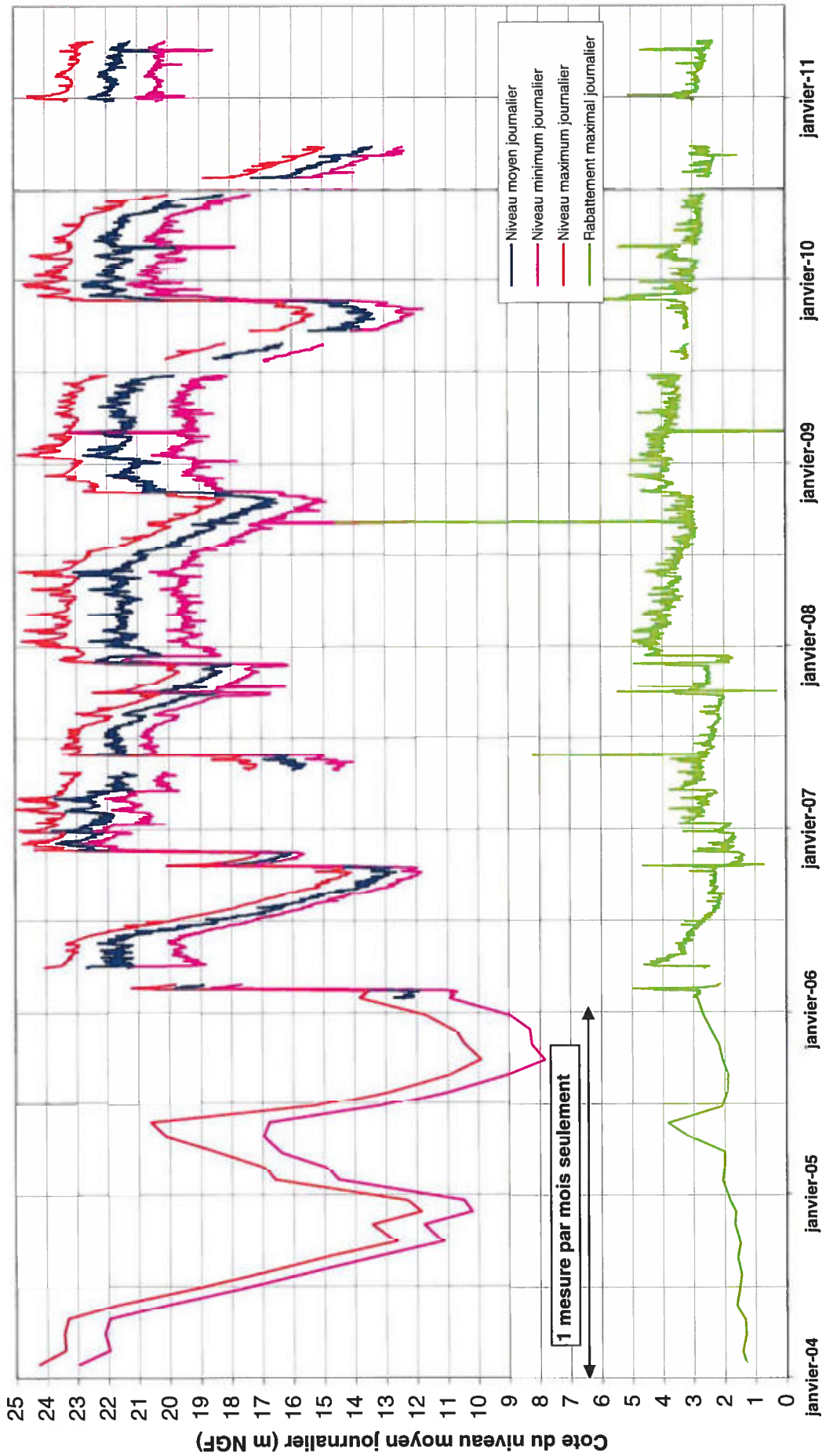
# Courbes piézométriques de F1 entre 2004 et 2011



### Captage d'eau potable de SAFFRE - Forage F2



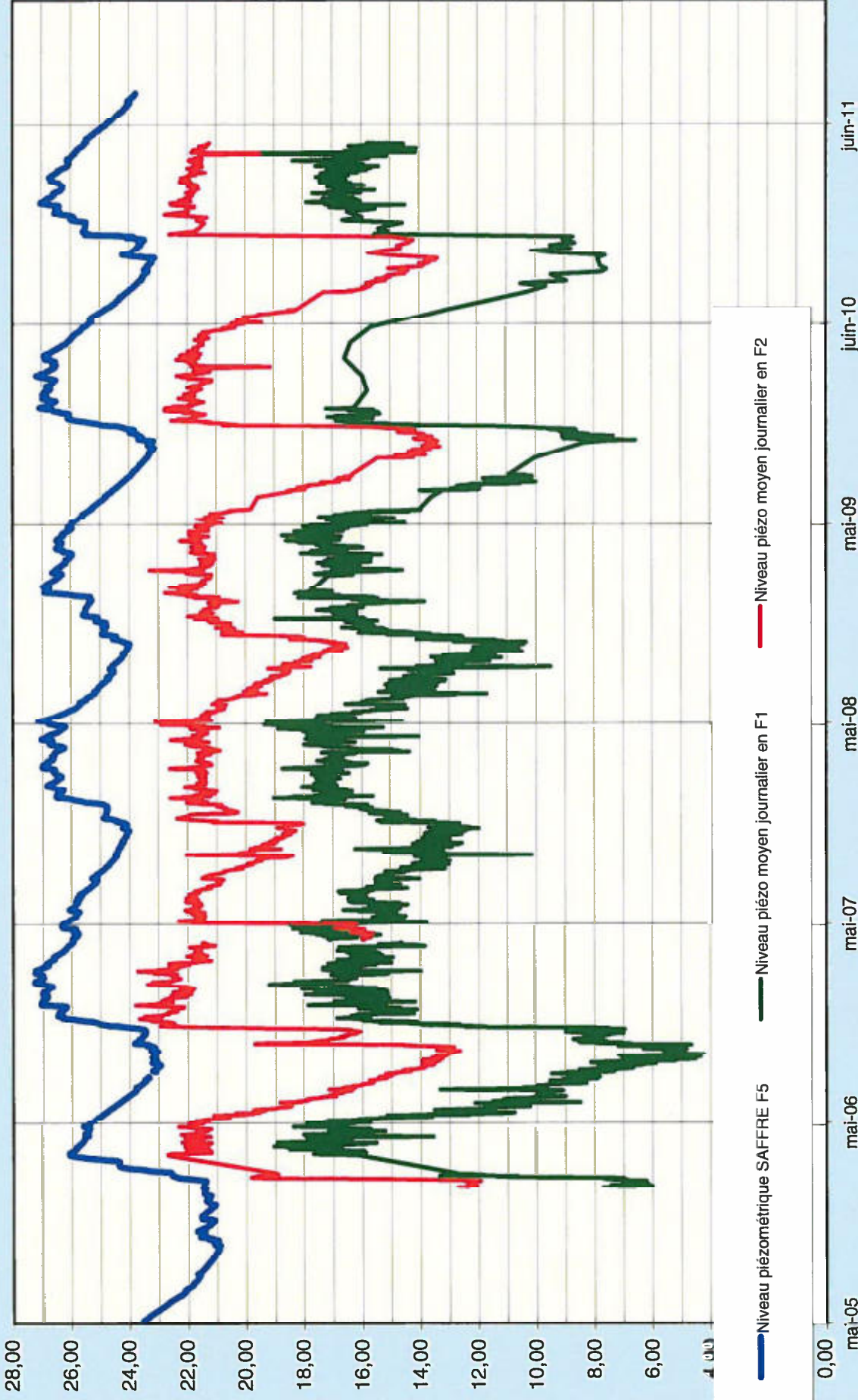
# Courbes piézométriques de F2 entre 2004 et 2011





# NAPPE DU BASSIN TERTIAIRE DE SAFFRE - Piézomètre du Calvaire (F5)

Cotes NGF m



## **ANNEXE 3 :**

**Exemples de gouffres, d'effondrements et de pertes observés sur le bassin  
d'effondrement de Saffré**

**(sources : SIAEP de Nort-sur-Erdre, Calligée)**



Calcaires marins  
sous 3 m d'argiles  
limoneuses marron

Photo 1 : Fouille à Augrain pour passage d'une conduite sous le Pas-Sicard, Mai 2011



Calcaires marins

Photo 2 : Détail du fond de la fouille avec calcaires mis à jour, Mai 2011





**Photo 3 : Vue de détail des calcaires fracturés dénoyés avec pompage, mai 2011**



**Photo 4 : Détail montrant les calcaires affectés par la dissolution, Mai 2011**





**Photo 5 : Perte dans le lit du Pas-Sicard en amont du Pont d'Augrain, aujourd'hui rebouchée (cliché SDAEP 44 - Décembre 2003)**



**Photo 6 : Perte actuelle du Pas-Sicard en aval du Pont d'Augrain - Mai 2011**





**Photo 7 : Perte dans le lit du Pas-Sicard en voie d'assèchement – Mars 2012**



**Photo 8 : Perte dans le lit de l'Apsiguais aujourd'hui rebouchée  
(cliché SDAEP 44 - Novembre 2001)**





**Photo 9 : Effondrement à la Chutenaie (cliché GEOARMOR – juillet 2003)**



**Photo 10 : Effondrement aux Petits Frênes (cliché SDAEP 44 - Décembre 2001)**





**Photo 11 : Autres effondrements aux Petits Frênes (cliché J. de Bouard – Janvier 2006)**



**Photo 12 : Nouvel effondrement après un rebouchage à la Chutenaie – Janvier 2012**





**Photo 13 : Emergence dans l'Isac avec remous d'eau plus chaude évitant le gel –  
Février 2012**

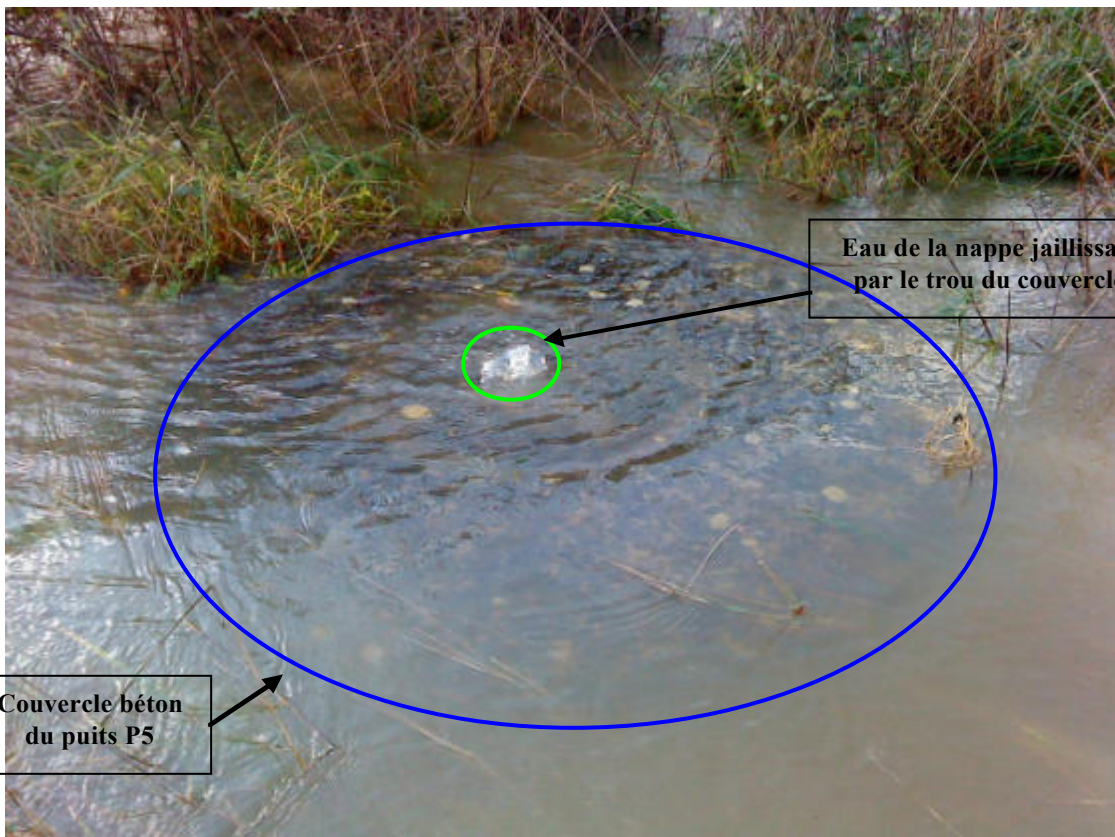


**Photo 14 : Zone d'émergence dans l'Isac asséchée en basses eaux – Juin 2012**





**Photo 15 : Entonnoir résiduel d'une zone d'émergence dans le lit de l'Isac – Mai 2011**



**Photo 16 : Mise en charge de l'aquifère calcaire lors de la recharge à la faveur de la crue du 16 décembre 2011**

## **ANNEXE 4 :**

**Résultats des jaugeages sur les cours d'eau traversant le bassin de Saffré**

Evolution des débits le long du Pas Sicard

**Campagne du 24/03/11: Ecoulement continu (Hautes eaux)**

Station	Débit		Bilan	Tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	Tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont			Bilan	Débit (m3/h)	% Q amont		
Pas Sicard amont Pz9	135.36	37.6	Pertes en amont d'Augrain	-59.04	-43.6	21.17	significatif	Pertes au moins des 3/4 du débit entrant entre Augrain et la Marquerais	-126	-76.6	16.5	tout juste significatif
Pas Sicard amont Pz6	76.32	21.2										
Aval Marquerais	39.6	11.0	Bilan équilibré	-1.08	-2.7	7.8	pas significatif					
Pas Sicard aval (Saulzaie)	38.52	10.7										

Pertes globales sous-évaluées car débit d'apport du rejet de l'Usine des eaux non pris en compte

Evolution des débits le long du Ruisseau de Puceul

Station	Débit		Bilan	Tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont		
Puceul amont	29.16	8.1	Perte de part en d'autre d'Augrain	-11.88	-40.7	4.6	significatif
Puceul aval (amont confluent)	17.28	4.8					

Pertes dans le ruisseau de Puceul intervenant plutôt en amont d'Augrain d'après bibliographie

**Campagne du 13/01/12 : tout l'écoulement se perd en amont du pont de la RD 33**

Station	Débit		Bilan	Tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont		
Pas Sicard amont Pz6	40.58	11.3	Perte totale des écoulements	82.74	100.0		
Puceul amont confluent	42.16	11.7					

Sous estimation du débit total de pertes car jaugeages réalisés juste en amont des pertes ponctuelles visibles (il existe des pertes diffuses en amont des sections jaugées)

**Campagne du 24/02/12 : tout l'écoulement se perd en amont du pont de la RD 33**

Station	Débit		Bilan	Tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont		
Pas Sicard amont Pz9	154.29	42.9	Perte totale des écoulements	194.41	100.0		
Puceul amont	40.12	11.1					

Le débit calculé correspond bien à l'ensemble des pertes alimentant la nappe

**Campagne du 13/03/12 : tout l'écoulement se perd en amont du pont de la RD 33**

Station	Débit		Bilan	Tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	Tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont			Bilan	Débit (m3/h)	% Q amont		
Pas Sicard amont Pz9	83.98	23.3	Perte totale des écoulements	100.72	100.0%			Pas de différences significatives	0.57		3.41	Non Significatif
Puceul amont	16.74	4.7										
Puceul Median	17.31	4.8										

**Campagne du 30/03/12 : tout l'écoulement se perd en amont du pont de la RD 33 et à l'aval pour le Puceul**

Station	Débit		Bilan	Tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont		
Pas Sicard Amont Pz9	100.40	27.9	Perte totale des écoulements	120.40	100.0%	12.04	
Puceul Amont	20.00	5.6					

Evolution des débits le long de l'Isac

Campagne des 23 et 24/03/11

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont			Débit (m3/h)	% Q amont			
Isac amont Pont RD 121	185.4	51.5	Pertes entre l'entrée du bourg et le château	53.28	28.7	31.75	significatif	Gain entre amont et aval	55.08	23.3	52.8	tout juste significatif
Isac médian Pont du bourg												
Isac médian Pont du château	132.12	36.7										
Apsiguis amont Pont RD 39	51.12	14.2	Gain entre Château et Pont de Saulzaie	108.36	159.1	47.5	significatif					
Isac en aval du Gué	183.24	50.9										
Isac aval en amont Pont de Saulzaie	291.6	81										

Débit qui est calculé en aval du Gué est surestimé car il existe des pertes en aval du Château

Evolution des débits le long de l'Apsiguis

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont		
Apsiguis amont aval Pont RD 121	53.28	14.8	Bilan équilibré				pas de différence significative
Apsiguis aval amont Pont RD 39	51.12	14.2					

Pertes en amont du Château (Bourg) représentent 29 % du débit amont  
 Pertes entre Château et Gué non quantifiées  
 Pertes dans l'Apsiguis non mise en évidence (rejet STEP non connu)  
 Gain en aval du Gué de près d'1/4 des apports amont (débit de perte du bourg plus que compensé)

Campagne du 20/01/12

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont			Débit (m3/h)	% Q amont			
Isac amont Pont RD 121	176.72	49.1	Bilan équilibré	23.29	13.2	37.67	pas significatif	Pertes entre le bourg et le Gué	-113.69	-39.53	46.15	significatif
Isac médian Pont du bourg	200.01	55.6										
Apsiguis en aval du Pont RD 39	87.59	24.3										
Isac en aval du Gué	173.91	48.3	Gain entre Gué et aval Pz2	41.55	123.9	38.9	écart peu significatif					
Isac aval (en aval Pz2)	215.46	59.85										

Restitution en aval représentant 36,5% des pertes observées en amont du gué

Campagne du 17/02/12

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont			Débit (m3/h)	% Q amont			
Isac amont Pont RD 121	non mesuré		Bilan équilibré Château et aval Pz2	-5.66	-1.2	91.51	pas significatif	Pertes entre le château et le Gué	-75.76	-16.46	84.50	même ordre de grandeur que l'incertitude de mesure
Isac médian Pont du château	245.07	68.1										
Apsiguis en aval du Pont RD 39	215.32	59.8										
Isac en aval du Gué	384.63	106.8	Gain entre Gué et aval Pz2	70.1	118.2	83.9	écart peu significatif					
Isac aval (en aval Pz2)	454.73	126.3										

Doute sur l'importance du débit de l'Apsiguis  
 Le bilan semble équilibré : les pertes en amont du Gué sont compensées par les gains en aval de celui-ci

Campagne du 24/02/12

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q amont			Débit (m3/h)	% Q amont			
Isac amont Pont RD 121	0	0.0	Pas de pertes					Pertes entre le bourg et le Gué	-149.21	-40.64	58.51	significatif
Isac médian Pont du bourg	246.48	68.5										
Apsiguis en aval du Pont RD 39	120.69	33.5										
Isac en aval du Gué	217.96	60.5	Gain entre Gué et aval Pz2	98.86	145.4	53.5	significatif					
Isac aval (en aval Pz2)	316.82	88.0										

Restitution en aval représentant 66,2% des pertes observées en amont du gué

Campagne du 13/03/12

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q Perte			Débit (m3/h)	% Q amont			
Isac médian Pont du bourg	113.23	31.5	Pas de pertes			11.32		Perte entre château et Gué	-68.34	-46.23%	41.91	significatif
Isac Château	104.6	29.1										
Apsiguis en amont du Pont RD 39	69.93	19.4	Pertes entre amont et aval	-26.71	-38.20%	6.99	significatif					
Apsiguis en aval du Pont RD 39	43.22	12.0										
Isac en aval du Gué	88.11	24.5	Gain entre Gué et aval Pz2	217.85	247.2%	39.4	significatif	Gain / débit d'alimentation	122.8	67.0%	48.9	significatif
Isac aval (en aval Pz2)	305.96	85.0										

Pertes totales -95.05 soit 51,9 % du débit total amont

Campagne du 30/03/12

Station	Débit		Bilan	tronçon étudié		Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul	tronçon étudié			Incertitude sur Q (m3/h)	signification du calcul
	m3/h	l/s		Débit (m3/h)	% Q Perte			Débit (m3/h)	% Q amont			
Isac médian Pont du bourg	82.2	22.8	Pertes au niveau du gué	-61.28	-48.12%	19.34	significatif	Gain par rapport au débit total d'alimentation	233.05	183.00%	48.78	significatif
Apsiguis en amont du Pont RD 39	45.15	12.5										
Isac en aval du Gué	66.07	18.4	Gain entre Gué et aval Pz2	294.33	445.48%	42.65	significatif					
Isac aval (en aval Pz2)	360.4	100.1										

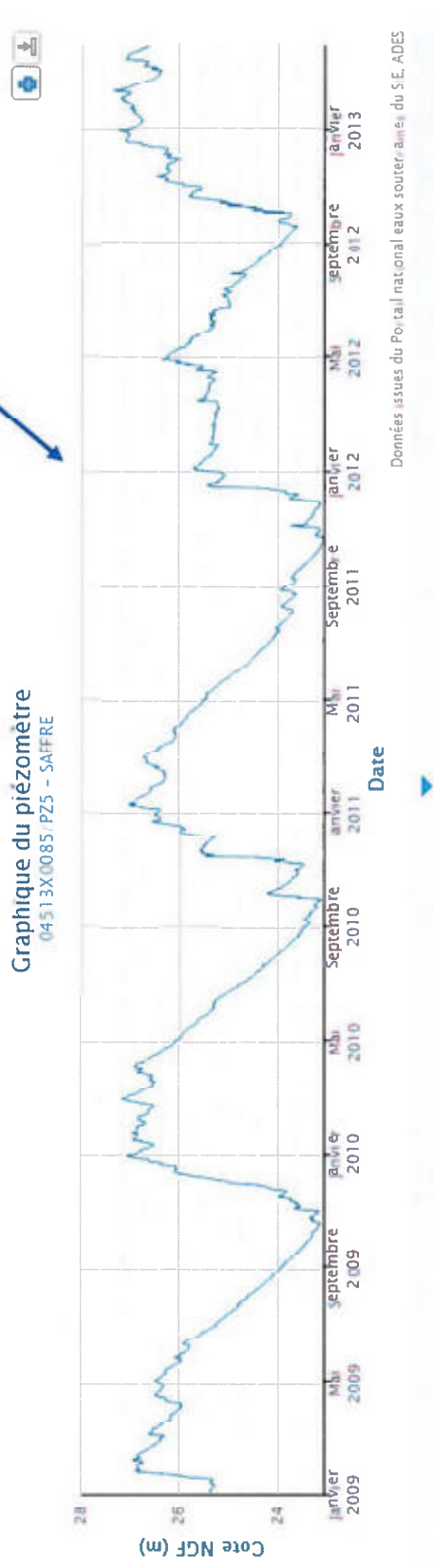
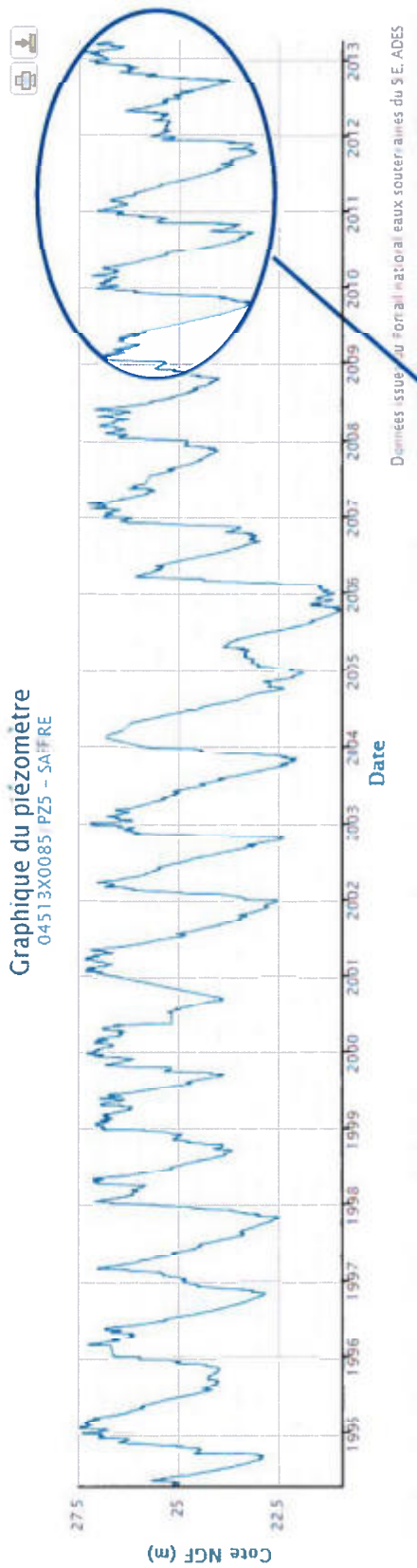


## **ANNEXE 5 :**

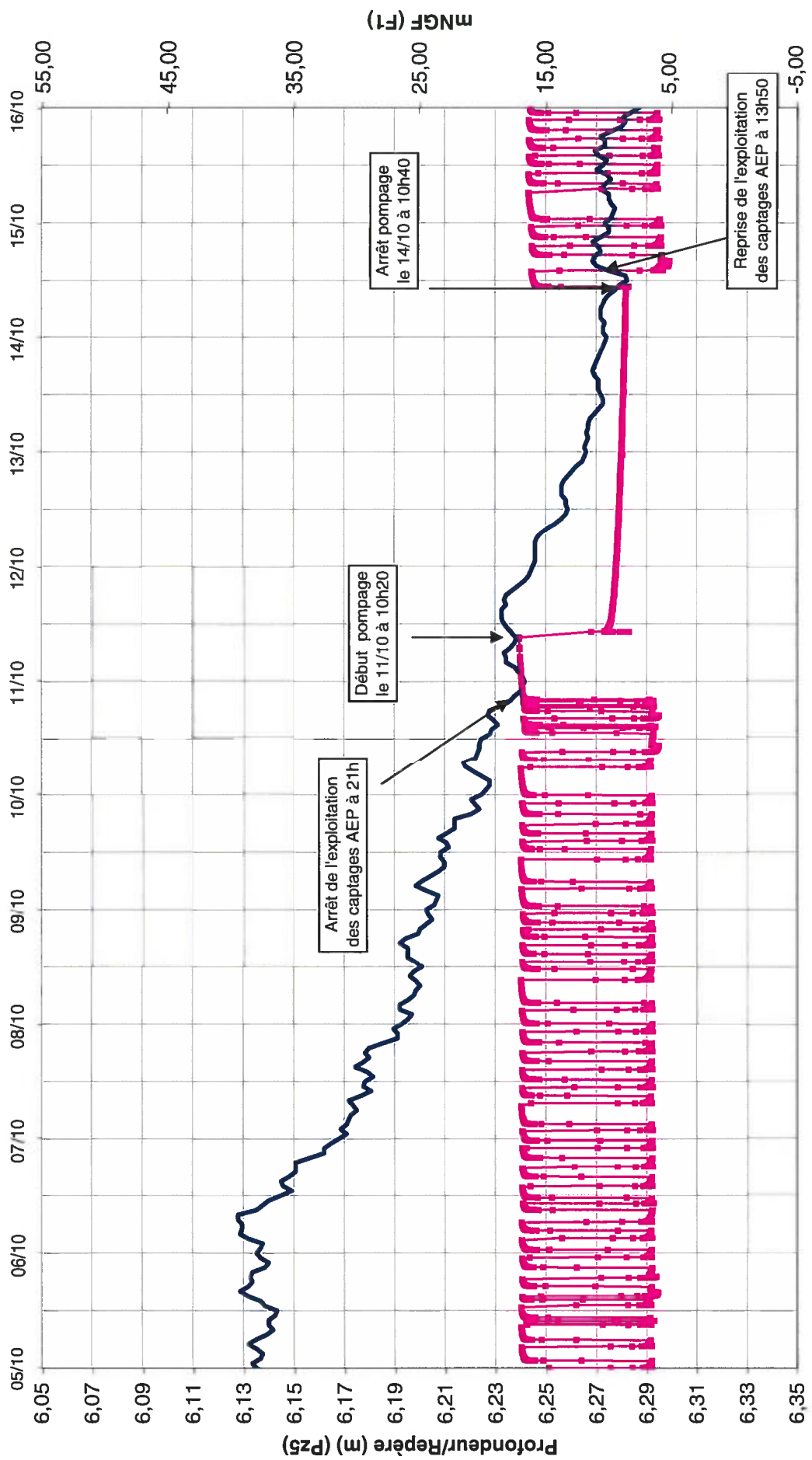
**Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires oligocènes de Saffré  
observées sur le piézomètre de référence (04513X0085/PZ5)**

**(sources : SIAEP de Nort-sur-Erdre, Conseil Général 44, ADES)**

**Chroniques piézométriques enregistrées sur le piézomètre de référence du bassin de Saffré (04513X0085/PZ5)**  
(Source : ADES)

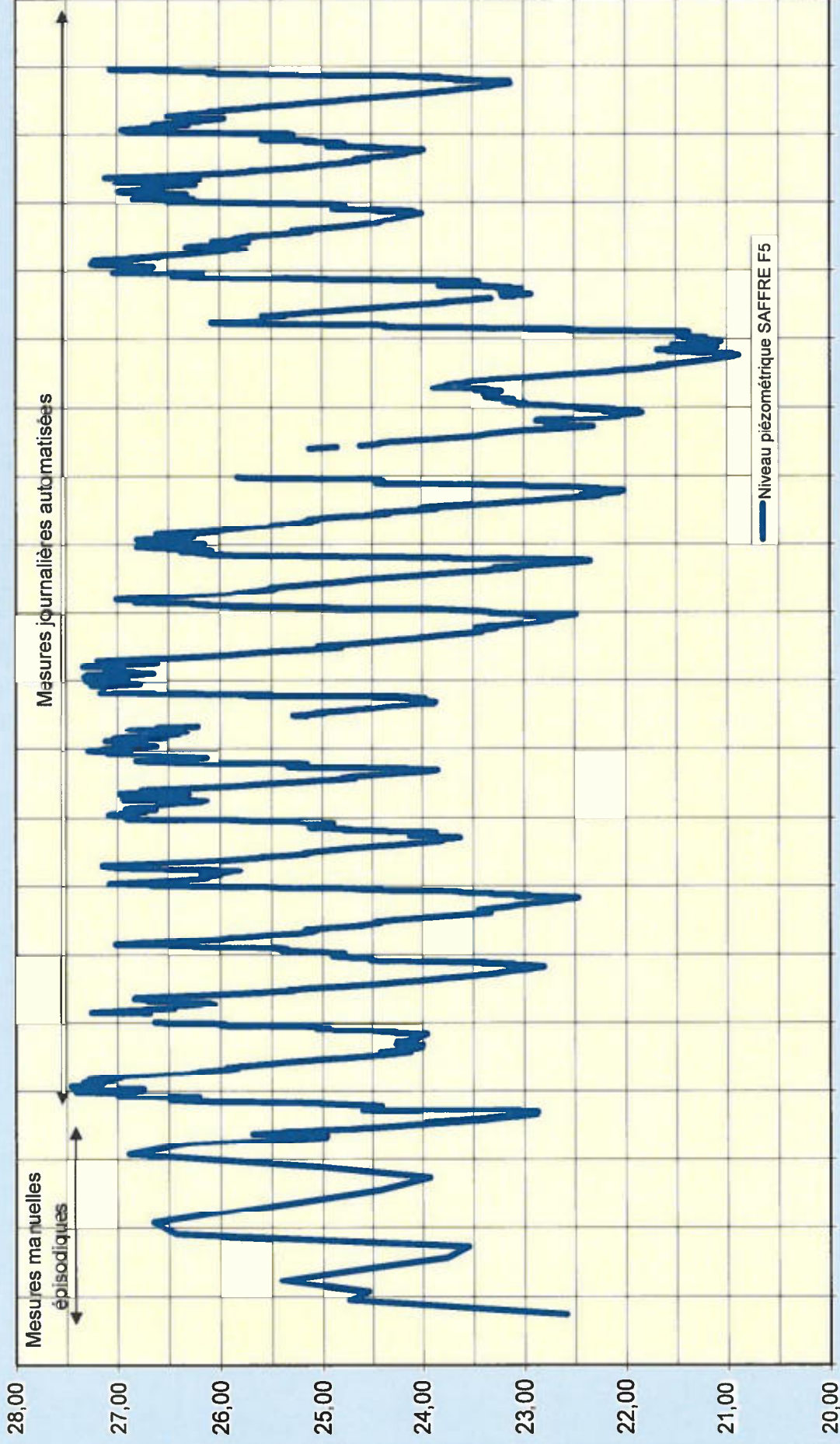


# SAFFRE : Evolution du niveau d'eau sur le piézomètre Pz5



# NAPPE DU BASSIN TERTIAIRE DE SAFFRE - Piézomètre du Calvaire (F5)

Cotes NGF m





P 451.3x85

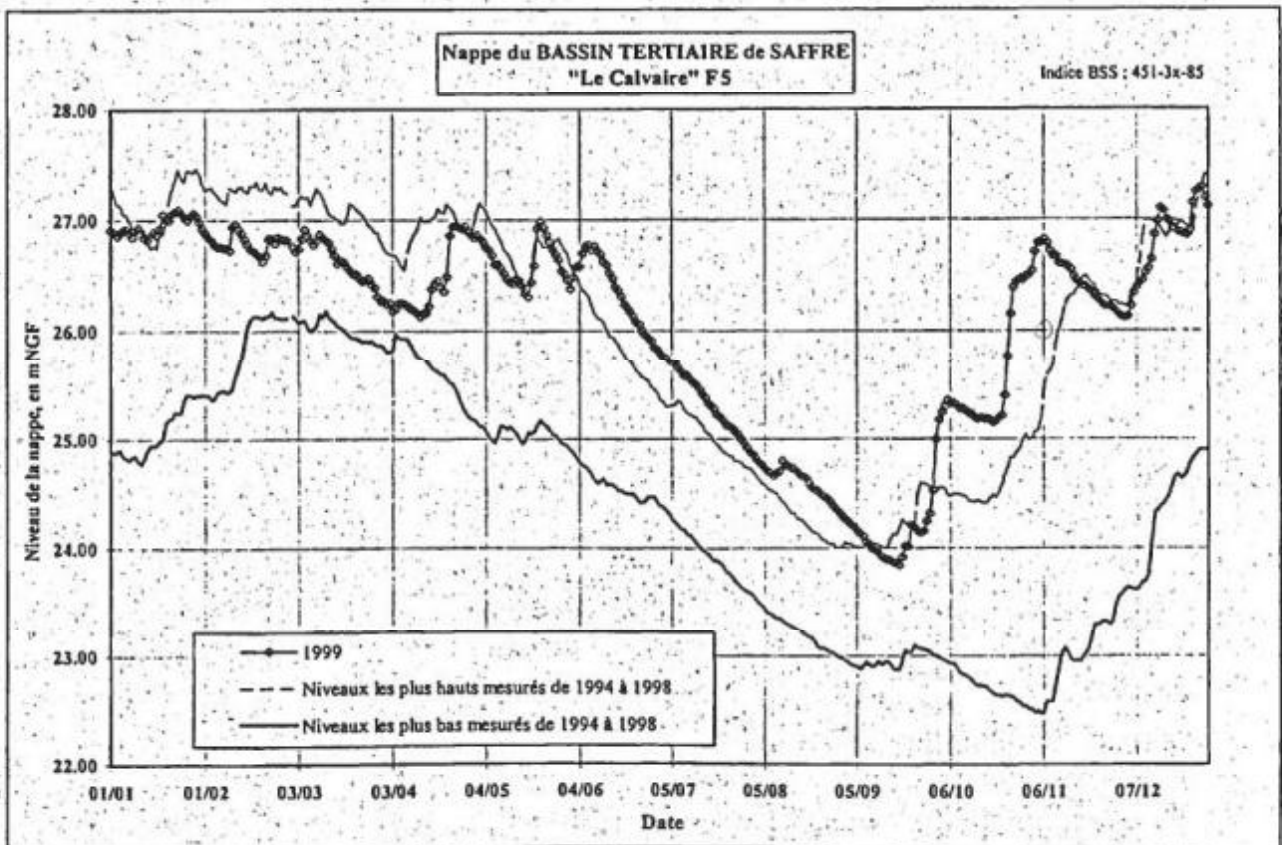
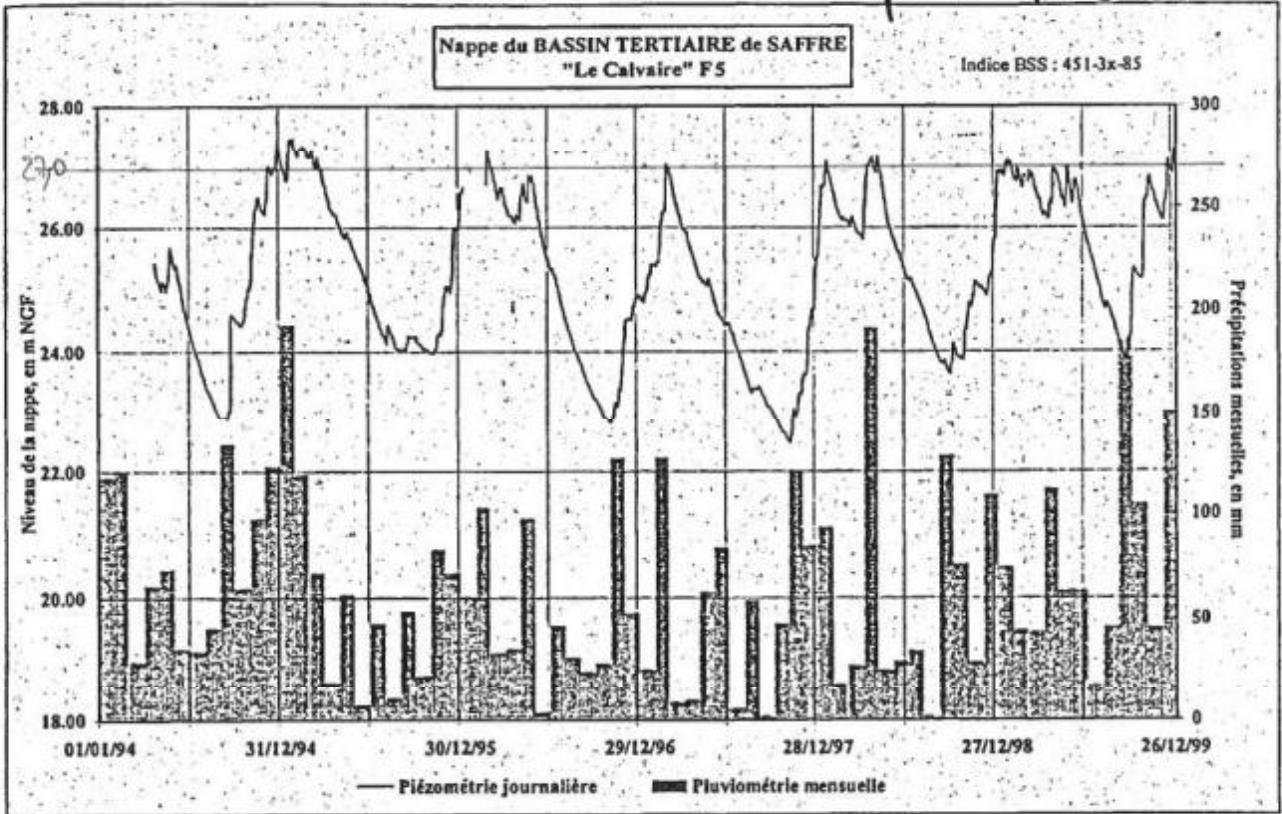


Fig.23



0451 3x 0085 / P25 / P.3

**Le Calvaire - n°5 - SAFFRE**  
**Synthèse des données piézométriques depuis septembre 1991**

