

# CALLIGEE

SCIENCES ET TECHNIQUES GEOLOGIQUES

**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-A - TEXTE  
PROSPECTION GEOPHYSIQUE**

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

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

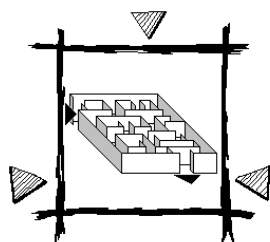
**RAPPORT CALLIGEE N11-44084-A - TEXTE  
PROSPECTION GEOPHYSIQUE**



N° rév	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Approbation	Visa	Date application
1	Christopher BOULAY		Viviane BORNE Paul-Henri MONDAIN				Juin 2012

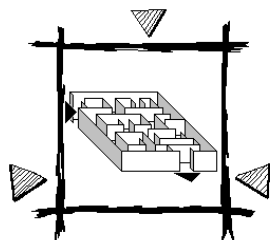
CALLIGÉE - SIÈGE SOCIAL  
Site Atlanpole Ecole Centrale  
1, rue de la Noë - BP 82118  
44321 NANTES Cedex 3  
Tél. 02 40 14 33 71 - Fax 02 40 14 33 72  
E-mail : nantes@calligee.fr

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



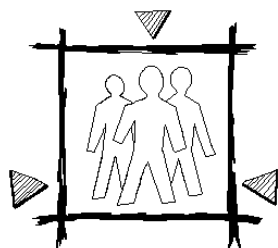
## SOMMAIRE

<b>1 - INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>2 - CONTEXTE DE L'ETUDE.....</b>	<b>5</b>
2.1 - CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE .....	5
2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	5
2.3 - CONTEXTE TECHNIQUE .....	8
<b>3 - CARTOGRAPHIE EM 34-3.....</b>	<b>9</b>
3.1 - LOGISTIQUE ET APPROCHE PRATIQUE .....	9
3.2 - RESULTATS.....	11
3.3 - INTERPRETATIONS .....	11
3.4 - CONCLUSION.....	13
<b>4 - TOMOGRAPHIES ELECTRIQUES.....</b>	<b>14</b>
4.1 - LOGISTIQUE ET APPROCHE PRATIQUE .....	14
4.2 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	14
4.3 - CONCLUSION.....	17
<b>5 - SONDAGES ELECTRIQUES.....</b>	<b>18</b>
5.1 - LOGISTIQUE ET APPROCHE PRATIQUE .....	18
5.2 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	18
<b>6 - SYNTHESE GEOLOGIQUE A PARTIR DES DONNEES GEOPHYSIQUES .....</b>	<b>25</b>
<b>7 - APPORT DES DONNEES GEOLOGIQUES RECENTES.....</b>	<b>27</b>
7.1 - APPORT DES QUATRE PIEZOMETRES COMPLEMENTAIRES .....	27
7.2 - APPORT DES ETUDES GEOTECHNIQUES .....	31
7.3 - SYNTHESE DE L'ENSEMBLE DES NOUVELLES DONNEES.....	38
<b>8 - SYNTHESE GEOLOGIQUE ET RISQUES KARSTIQUES .....</b>	<b>40</b>



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Contrôle de la dérive instrumentale et journalière (point n°1419) .....	10
Tableau 2	Contrôle de la dérive instrumentale et journalière (point n°1126) .....	10
Tableau 3	Contrôle de la dérive instrumentale et journalière (point n°1127) .....	10
Tableau 4	Sondage électrique n°1 .....	19
Tableau 5	Sondage électrique n°2 .....	20
Tableau 6	Sondage électrique n°3 .....	20
Tableau 7	Sondage électrique n°4 .....	21
Tableau 8	Sondage électrique n°5 .....	21
Tableau 9	Sondage électrique n°6 .....	22
Tableau 10	Sondage électrique n°7 .....	22
Tableau 11	Sondage électrique n°8 .....	23
Tableau 12	Sondage électrique n°9 .....	24
Tableau 13	Sondage électrique n°10 .....	24
Tableau 14	Caractéristiques des piézomètres .....	28



## 1 - INTRODUCTION

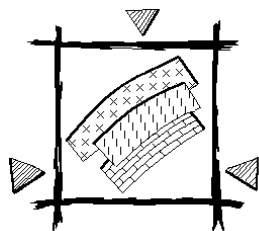
À la demande et pour le compte du Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable de Nort-sur-Erdre (44), la société CALLIGEE (Nantes, 44) est intervenue entre les mois d'avril et d'août 2011 sur la commune de Saffré (44), pour effectuer une campagne de reconnaissance géophysique. Cette campagne fait partie de l'étude plus complète de définition des zones à risques liés à des effondrements karstiques.

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 uniquement le volet « étude géologique » du bassin de Saffré. Il expose les circonstances d'intervention sur le terrain et les résultats qui ont été obtenus à partir de la prospection géophysique, à la lumière de toutes les données géologiques ponctuelles portées à connaissance. Les résultats de l'étude hydrogéologique font l'objet d'un second rapport (Calligée N11-44084-B) et débouchent sur l'élaboration d'une carte de zonage des risques des effondrements karstiques.



## 2 - CONTEXTE DE L'ETUDE

### 2.1 - CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

La commune de Saffré fait partie de la Communauté de Communes de la Région de Nozay. Elle est située à 25 km au Nord de l'agglomération Nantaise et s'étend sur près de 5 746 ha. La localisation de la commune fait l'objet de la [figure 1](#) située en **annexe 1**.

La topographie est peu élevée et relativement plane sur l'ensemble de la zone d'étude, de l'ordre de 25 m cote NGF à 35 m pour les points les plus élevés.

Le bassin de Saffré présente un réseau hydrographique constitué de plusieurs ruisseaux :

- le **Pas-Sicard** et le **Puceul** à l'Ouest qui se rejoignent au niveau du lieu-dit Augrain ;
- l'**Isac**, qui traverse le bourg de Saffré du Nord au Sud ;
- l'**Apsiguais** au Sud du bourg, qui rejoint l'Isac au niveau de l'ancienne station de pompage.

### 2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

#### 2.2.1 Sources bibliographiques

L'étude bibliographique s'est appuyée sur de nombreux ouvrages et travaux. Ce sont notamment : la thèse de S. DURAND de 1959, le DEA de V. BORNE de 1978 ou encore les travaux de J.P MARGEREL. La carte géologique à 1/50 000<sup>e</sup> n°451 Nort-sur-Erdre, dont un extrait est présenté sur la [figure 3](#), et des données du sous-sol disponibles sur le site INFOTERRE du BRGM. Les coupes de forage également issues des études précédentes ont également été intégrées à cette étude.

La position des forages mécaniques dont le log géologique est disponible, est reportée sur la [figure 4](#). Ces positions, comme toutes les informations, sont projetées et calées sur la carte IGN 1222 E à 1/25 000<sup>e</sup>, avec la projection Lambert II étendu.

L'ensemble des interprétations géophysique et géologique ont été réalisées à partir de ces données. Suivant les campagnes et le suivi, les logs sont plus ou moins détaillés et sont parfois difficiles à exploiter.

## 2.2.2 Etat des connaissances

La commune de Saffré se trouve sur un bassin d'effondrement d'âge tertiaire qui aurait fonctionné comme un petit graben à l'Oligocène (S. DURAND, 1959). De forme grossièrement elliptique, il s'allonge sur 7 km du Nord-Ouest au Sud-Est pour une largeur d'environ 4 km.

C'est grâce aux différents travaux effectués depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle que l'on peut avoir une idée de la structure du bassin et du contexte des dépôts. Dès 1881, G. VASSEUR lève une première carte géologique.

En 1951, une campagne de sondage ayant pour objet une recherche en eau souterraine, permet d'obtenir des coupes géologiques détaillées. S. DURAND, dans sa thèse, reprend les travaux de G. VASSEUR et les données acquises lors de cette campagne de sondage. Entre 1964 et 1966, la société Lafarge entreprend une campagne de prospection pour la recherche de calcaires. Pour cela, 24 sondages ont été effectués, fournissant ainsi des données complémentaires sur la géologie du bassin.

Dans les années 1970, J.-P. MARGEREL reprend les logs obtenus lors des campagnes de sondages et propose un premier schéma structural du bassin. Il réalise des coupes géologiques afin de comprendre l'agencement des différents horizons sédimentaires et met en évidence un réseau de failles orientées NW-SE recoupant la partie centrale du bassin ([figure 5](#)).

L'origine du bassin de Saffré est commune aux bassins tardifs de Loire-Atlantique, comme Campbon-Drefféac à l'Ouest, ou Nort-sur-Erdre situé plus au Sud. Les séries schisto-gréseuses composant le socle ont été affectées au début de l'ère tertiaire (*Paléogène*), par une fracturation intense entraînant un effondrement du substratum. Les dépressions résultantes se sont ensuite progressivement comblées par une sédimentation marine puis lacustre. A Saffré, trois grands ensembles sédimentaires oligocènes sont présents :

- un ensemble argilo-calcaire ;
- un ensemble calcaire ;
- un ensemble d'argiles.

Le tout repose sur des sables et grès éocènes et sur le socle paléozoïque schisto-gréseux fracturé.

Des sables, d'âge plio-quadernaire, viennent surmonter par endroit les formations oligocènes. Une période d'environ 20 millions d'années sépare ces deux séries de dépôt.

Réalisé en février 1977 par la société MONTAVON et pour le compte du Syndicat des Eaux de Nort-sur-Erdre, le sondage effectué à proximité de la Chutenaie présente le log stratigraphique de l'ensemble des séries sédimentaires du bassin ([figure 6](#)). Le socle schisto-gréseux a été rencontré vers 330 m de profondeur. Ce forage reste à l'heure actuelle le plus profond réalisé sur le bassin de Saffré.

De nombreuses autres études ont été menées depuis ; on recense une campagne de sondages effectuée entre 1991 et 1992 par les sociétés GEOSCOP et LITHOLOGIC, ainsi que des travaux concernant la protection de la ressource en eau. Ces derniers ont mis en évidence un lien entre les karsts et la pollution de la nappe. En effet, lors de fortes précipitations, le réseau karstique, qui semble bien développé, permet aux eaux de surface de recharger très rapidement l'aquifère.

De nombreux effondrements de surface sont recensés. Chaque année plusieurs nouveaux effondrements sont signalés. Les témoignages de la présence d'effondrements existent depuis très longtemps, mais d'après les recensements effectués ces dernières années, il a été estimé que leur nombre s'est accru.

### **2.2.3 Le phénomène karstique**

Le karst est une structure géomorphologique résultant de l'érosion hydrochimique et hydraulique de formations carbonatées, telles que les formations calcaires. Ces formations étant très répandues à la surface du globe, on retrouve ces phénomènes de karstification sur quasiment tous les continents, de l'Europe à l'Asie, en passant par l'Amérique et l'Afrique.

Les régions karstiques présentent pour la plupart un paysage tourmenté où le réseau hydrographique de surface est quasi-inexistant. Les eaux météoriques s'infiltrent très rapidement dans le sous-sol dans lequel un réseau de drainage souterrain s'organise pour collecter ces eaux et les acheminer vers un nombre restreint de grosses sources (appelées aussi émergences karstiques).

Le phénomène de karstification est principalement favorisé par la présence d'eau en abondance et enrichie en CO<sub>2</sub> dissous. Cette eau devient alors agressive pour les calcaires et provoque leur dissolution en créant des vides. D'autres facteurs tels que la présence d'êtres vivants (micro-organismes du sol), la présence de fracturations, la composition des carbonates et le temps de contact eau-roche influencent également la formation de karsts. Lorsque ce processus se développe sur une longue période, il peut aboutir à la formation de vides importants.

Dans de nombreux cas, ces phénomènes de dissolution se manifestent dès la surface sur les formations calcaires affleurantes, créant une morphologie particulière appelée exo-karstique. Dans d'autres situations, les formations calcaires sont surmontées par des horizons géologiques de natures différentes. Dans certains cas, la manifestation de la présence en profondeur de vides karstiques (endo-karstiques) peut engendrer un soutirage des formations sus-jacentes qui se traduit en surface par des phénomènes d'effondrement ou la formations de dolines.

Dans le cas du bassin de Saffré, seul l'horizon constitué par les calcaires oligocènes est potentiellement sensible à la karstification. Pour qu'il y ait formation de karst, il est nécessaire d'avoir une circulation des eaux souterraines active, donc un exutoire plus bas que le plateau calcaire. A Saffré, il n'existe actuellement aucun relief marqué. Les études menées ont contribué à mettre en évidence des paléochenaux colmatés par des dépôts plio-quadernaires.

De nombreux effondrements liés à une karstification ont été recensés et continuent à se former. La localisation de ces effondrements est présentée sur la **figure 7**.

Ils sont le plus souvent localisés à proximité du réseau hydrographique et se forment fréquemment dans le lit des ruisseaux. Dans ce dernier cas, on observe des pertes importantes absorbant parfois la totalité du débit du ruisseau (LITHOLOGIC (1991) - *Suivi des travaux d'aménagement de L'Isac et du comblement des karsts*).



## 2.3 - CONTEXTE TECHNIQUE

Compte tenu de la complexité de la structure du bassin, des investigations géophysiques étaient nécessaires pour approfondir les connaissances de la nature et de l'agencement des horizons géologiques et pour déterminer plus précisément l'emplacement des failles régissant le bassin.

Pour cela, une zone principale d'étude a été déterminée. Elle s'étend sur une surface d'environ **600 ha** (3 km sur 2 km). Elle comprend l'intégralité du bourg de Saffré jusqu'au lieu-dit Augrain à l'Ouest. Elle s'étend du Moulin Mortraie, le Petit Bal et la Grosseie au Nord, jusqu'à la Rinais, l'Avenue et la Guerlais au Sud, et se limite aux Ormes et l'Enfeu à l'Ouest, et Le Ban Morre à l'Est (**figure 2**).

Une seconde zone d'étude, d'environ 5 ha, a été également prospectée. Elle est localisée au Sud-Ouest de la principale zone d'étude, à proximité de La Noë Péguille et l'Eturmel, et traverse l'Isac (**figure 2**). La prospection réalisée sur ce second site avait quant à elle pour objectif de rechercher une paléo-vallée dont la présence était supposée à partir des données anciennes de forage et qui pourrait expliquer l'origine de la karstification.

La prospection géophysique s'est déroulée en **3 étapes** et a mobilisé une équipe formée d'un ingénieur et d'un technicien sur près de 25 jours.

La première étape a consisté à établir une **cartographie des résistivités** par méthode électromagnétique **EM34-3**. Cette première phase a été réalisée entre le 11 avril et le 10 mai, soit 18 jours d'intervention.

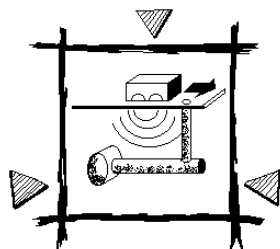
Des **tomographies électriques** et des **sondages électriques verticaux** ont ensuite été implantés suivant les résultats des cartes de résistivités. Ces deux méthodes, basées sur l'injection de courant continu dans le sol, donnent des informations plus précises et plus localisées sur des zones dites d'intérêt ou au contraire sur des zones pauvres en données géologiques.

La prospection par **tomographie électrique** a comporté 5 dispositifs localisés sur des potentielles zones de failles. L'objectif étant de mettre en évidence ces structures verticales et ainsi confirmer ou non les hypothèses de départ sur la structure du bassin de Saffré. La prospection a été réalisée les 8, 11 et 12 juillet 2011.

La troisième étape de la prospection a été la réalisation de 10 **sondages électriques verticaux** les 21 et 22 juillet et les 3 et 5 août 2011. Cette méthode donne des coupes précises des différentes formations, ainsi que leurs épaisseurs au droit du dispositif.

L'intégralité des mesures s'est déroulée dans les mêmes conditions climatiques, par temps chaud et sec, avec de très rares précipitations. Les paramètres physiques du sous-sol, tel que la résistivité électrique, n'ont donc potentiellement pas variés.

Les résultats des différentes campagnes de prospection sont présentés ci-après.



### 3 - CARTOGRAPHIE EM 34-3

#### 3.1 - LOGISTIQUE ET APPROCHE PRATIQUE

Le principe de la méthode électromagnétique est détaillé en **annexe 2**.

La valeur physique mesurée par cette méthode correspond à la **conductivité** du sous-sol. Cette valeur, exprimée en milli-siemens par mètre, a été transformée en **résistivité** (Ohm.m), qui est l'unité plus généralement utilisée en géologie et qui permet des rapprochements avec les prospections électriques.

Etant donné que l'objectif était la réalisation d'une carte géologique et structurale et que la surface à prospector était très grande (**600 ha**), il a été choisi une maille de mesure de **100 m**, plus resserrée (~ **50 m**) dans les zones à prospector plus précisément, comme les zones privilégiées d'effondrement. Le maillage réalisé sur la seconde zone d'étude était par contre plus resserré : 3 profils espacés de 50 m, avec une mesure tous les 20 m (**figures 9 et 10**).

La position de chaque point de mesure a été préalablement rentrée dans un GPS Garmin, facilitant ainsi la prospection. Toutes les modifications d'emplacement d'un point étaient immédiatement enregistrées.

Cette méthode étant très sensible aux champs électromagnétiques ambiants, générés entre autre par des réseaux électriques enfouis, la position des points de mesure ont parfois été modifié par rapport au positionnement établi lors de la préparation de la campagne. L'objectif étant de rester le plus possible à proximité de la position initiale tout en étant certain que les valeurs de conductivités obtenues soient correctes.

Le dispositif de mesure est constitué de deux bobines. Suivant leur écartement et leur position, verticale ou horizontale, la profondeur d'investigation est différente. On parlera de dipôle horizontal pour les mesures les moins profondes et de dipôle vertical pour les mesures les plus profondes.

La profondeur d'investigation de cette méthode varie entre 7.5 m et 60 m de profondeur, ce ne sont toutefois que des valeurs théoriques. Ces dernières peuvent varier selon la nature du terrain traversé, notamment dans les argiles où la profondeur d'investigation peut être largement diminuée.

La campagne recense un total de **676 points** de mesure, avec 6 valeurs de résistivité par point correspondant chacune à une profondeur d'investigation donnée, pour un total de **4 056 mesures**.

Pour assurer un suivi temporel des mesures, nous avons effectué des enregistrements à un même point à des périodes différentes. Ce contrôle revient à surveiller la dérive instrumentale et journalière, et permet ainsi de vérifier si des corrections sont nécessaires.

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs mesurées sur 3 points de contrôle. Le point n°1419 a été effectué sur la parcelle **BT18** situé dans la rue du Manoir à proximité de la Mairie. Les points n°1126 et 1127 ont été réalisés dans la parcelle **YC16** localisée entre le Château et le ruisseau l'Apsiguais ([figure 9](#)).

Point n°1419		HD 40m ( $\Omega$ m)	VD 40m ( $\Omega$ m)	HD 20m ( $\Omega$ m)	VD 20m ( $\Omega$ m)	HD 10m ( $\Omega$ m)	VD 10m ( $\Omega$ m)
27/04	9h	21.7	23.8	39.2	20.0	30.8	17.1
	12h	27.8	26.3	37.7	21.7	26.7	18.3
	18h	28.6	23.8	36.4	19.6	26.7	18.5
29/04	9h	27.8	25.0	38.5	20.8	26.3	18.5

Tableau 1 Contrôle de la dérive instrumentale et journalière (point n°1419)

Point n°1126		HD 40m ( $\Omega$ m)	VD 40m ( $\Omega$ m)	HD 20m ( $\Omega$ m)	VD 20m ( $\Omega$ m)	HD 10m ( $\Omega$ m)	VD 10m ( $\Omega$ m)
15/04	9h	13.9	13.0	18.0	15.2	27.4	18.9
29/04	9h	14.0	8.9	18.2	14.5	25.3	20.8

Tableau 2 Contrôle de la dérive instrumentale et journalière (point n°1126)

Point n°1127		HD 40m ( $\Omega$ m)	VD 40m ( $\Omega$ m)	HD 20m ( $\Omega$ m)	VD 20m ( $\Omega$ m)	HD 10m ( $\Omega$ m)	VD 10m ( $\Omega$ m)
15/04	9h	8.3	8.3	11.4	11.1	19.2	14.7
29/04	9h	10.5	10.8	12.3	11.9	16.9	17.4

Tableau 3 Contrôle de la dérive instrumentale et journalière (point n°1127)

Les résistivités mesurées sont assez proches pour un même dispositif et un moment différent. Les écarts maximaux mesurés sont de l'ordre de 6  $\Omega$ m.

Etant donné que la gamme de résistivité pour l'ensemble des cartes électromagnétique est comprise entre 4  $\Omega$ m et 130  $\Omega$ m, on peut établir que la dérive est négligeable.

## 3.2 - RESULTATS

Les cartes de résistivités ont été réalisées avec le logiciel Surfer 10 (Golden Software).

Les résistivités sont représentées avec un code couleur chaud froid, les plus fortes en marron et les plus faibles en bleu, et nous avons adapté pour l'ensemble des cartes la même échelle logarithmique.

L'ensemble des cartes est présenté en **annexe 1** et sont projetés sur fond IGN.

La première carte (dipôle horizontal espacement 10m, **figure 11**) permet d'appréhender la géologie de subsurface. Les cartes suivantes donnent d'avantage d'information sur l'agencement des terrains en profondeur jusqu'à près de 60 m.

## 3.3 - INTERPRETATIONS

### 3.3.1 Gammes de résistivités

En comparant ces cartes aux données du sous-sol, on peut associer des gammes de résistivités à différents types de terrains :

- inférieur à **20  $\Omega$ m** : argiles vertes et marnes argileuses
- **20 à 35  $\Omega$ m** : marnes
- **35 à 60  $\Omega$ m** : calcaires
- **60  $\Omega$ m** et plus : sables

En prenant en compte que la méthode électromagnétique intègre l'ensemble des terrains situé au dessus d'une profondeur théorique d'investigation, on peut moduler ces gammes. Dans certains cas, des terrains sablo-argileux apparaîtront dans des gammes de résistivités proches de celles des marnes. Il faut donc absolument se référer aux différents logs géologiques disponibles pour lever les ambiguïtés.

La totalité de la zone de prospection n'ayant pas fait uniformément l'objet de campagne de sondages mécaniques, il a été nécessaire dans certains cas, soit d'interpréter les cartes en interpolant ou extrapolant, soit de faire référence à des études géophysiques complémentaires.

### 3.3.2 Structures et entités remarquables

#### a) Saffré

A partir des cartes obtenues (**figures 11 à 16**), une esquisse structurale a pu être proposée en se basant sur les contrastes horizontaux des résistivités. Cinq zones de failles potentielles ont été mises en évidence (**figure 17**) :

- **(F1)** Au Nord-Ouest, au niveau du Pas-Sicard, orientée NNE, séparant des terrains très résistants à l'Ouest (*associés à des sables et calcaires*), et plus conducteurs à l'Est vers le bourg de Saffré (*associés à des marnes*) ;

- **(F2)** Au Sud-Ouest, au niveau des Perrières et de la Chutenaie, orientée NO, séparant des terrains conducteurs au Nord (*associés à des marnes et marnes argileuses*), et des terrains résistants au Sud (*associés à des marnes et calcaires*) ;
- **(F3)** Au Sud-Est, au niveau du Château, deux failles parallèles orientées NNE, formant un couloir résistant séparant deux ensembles conducteurs associés à des argiles à l'Est et marnes à l'Ouest ; ce couloir semble se décaler vers l'Ouest en profondeur, pouvant indiquer un pendage des failles vers le SO ;
- **(F4)** Au Nord-Est, au niveau de la Minoterie, orientée NO, séparant des argiles au NE et des marnes et calcaires au SO ;
- **(F5)** A l'Ouest du bourg de Saffré, orientée NO, séparant des marnes au Nord et des argiles au Sud.

On peut signaler que des anomalies ont été observées lors de l'acquisition, elles sont localisées sur l'emplacement actuel de la faille **F1** en plein milieu d'une prairie. Elles se traduisent par des valeurs négatives de la résistivité, quel que soit l'espacement des électrodes choisi. Cette zone d'anomalie est vraisemblablement liée à la présence d'une faille.

On peut également délimiter des entités ou zones correspondant à un type de terrain, pour les formations superficielles (**figure 17**) :

- les entités **E1** et **E2**, localisées respectivement à l'Est et au Nord-Est sont associées aux argiles vertes profondes et avec par endroit des plaquages sableux peu épais ;
- l'entité **E3**, localisée au centre du bassin et délimitée par les principales failles ; la zone comprise entre les failles **F2** et **F5** est associée aux formations marno-argileuses supérieures d'épaisseur importante ; l'anomalie repérée au niveau du Rocher est liée à un plaquage important de sables argileux avec des débris de meulière et de calcaire ; plus au Nord vers la faille **F1**, les terrains sont beaucoup plus marneux, alors qu'au niveau du bourg un plaquage sableux est présent sur des calcaires peu profonds ;
- l'entité **E4**, localisée sur la partie nord de Augrain, le long du Pas-Sicard, est associée à une épaisse couche de sables plio-quadernaires surmontant les calcaires marins ; la partie plus au Nord présente des terrains sablo-argileux ;
- l'entité **E5**, localisée au niveau du bourg d'Augrain, est associée à des marnes ;
- l'entité **E6**, localisée au niveau de la Chutenaie, est associée à des terrains marneux le long de la faille **F1** et des calcaires surmontés par endroit par des sables.

*b) La Noë Péguille - l'Eturmel*

Les cartes de résistivité obtenues sur le second site d'étude (**figures 18 à 23**) ont mis en évidence une entité conductrice **E1** orientée NE-SW parallèle à l'Isac et encaissée au milieu de terrains résistants constitués à l'Est par des sables plio-quadernaires et à l'extrémité ouest par des cailloutis. Cette entité **E1**, formée par des alluvions, est présente en profondeur et pourrait correspondre à l'emplacement de la paléo-vallée recherchée.

Le sondage mécanique réalisé dans les années 1950 montre la présence du socle schisteux vers 25 m de profondeur, surmonté par des horizons sableux et sablo-argileux. L'entité **E1** se retrouvant en profondeur, on peut donc envisager que la paléo-vallée se soit formée directement au sein des schistes.

Sur la partie sud-est de la carte, une seconde entité **E2** conductrice peut être observée. Etant donné que les mesures ont été réalisées à proximité d'habitations et de la voirie, la probabilité de rencontrer des réseaux enfouis est très importante. Il est donc fort possible que cette anomalie soit engendrée par la présence de réseaux, tels que des canalisations d'eau ou réseaux électriques.

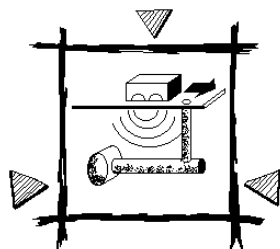
### 3.4 - CONCLUSION

La cartographie **EM34-3** a permis de mettre en évidence la structure générale du bassin de Saffré, en identifiant les positions potentielles des failles principales et les différents compartiments.

Le bassin présente une structure asymétrique avec une partie centrale très effondrée. La sédimentation a été très importante (**E3**). S'oppose ensuite les bordures ouest (**E4**, **E5**, **E6**), où la sédimentation fut moins importante que dans la partie centrale, et la partie est où les horizons carbonatés n'apparaissent pas.

C'est à partir de ces cartes, que les tomographies et sondages électriques ont été implantés. Les tomographies ayant pour but de préciser la position des failles ou zones de failles, et les sondages d'étalonner les tomographies ou les sondages mécaniques et d'apporter des informations complémentaires sur des zones pauvres en données du sous-sol.

Sur le second site, la présence d'une paléo-vallée peut être confirmée par la cartographie électromagnétique. Des mesures complémentaires seraient cependant envisageables afin de valider complètement cette hypothèse. La karstification des calcaires a probablement été favorisée par la présence de cette paléo-vallée, mais son emplacement reste difficile à appréhender.



## 4 - TOMOGRAPHIES ELECTRIQUES

### 4.1 - LOGISTIQUE ET APPROCHE PRATIQUE

Les tomographies électriques avaient pour objectif de valider les premières interprétations faites d'après les cartes **EM34-3** et de confirmer la présence des failles principales.

Basée sur l'injection de courant dans le sol, cette méthode donne une coupe du terrain et permet ainsi de connaître l'agencement des horizons géologiques dans le sous-sol et de mettre en évidence des structures verticales telles que les failles.

Le dispositif choisi pour cette campagne était composé de **64 électrodes** espacées de **5 m**, soit une longueur totale de **315 m**. L'acquisition s'est faite à l'aide d'un **Terrameter SAS 4000** (ABEM) suivant la configuration **Wenner-Schlumberger**.

Un courant électrique variant de 20 mA à 1 000 mA a été injecté dans le sous-sol. Sur certains sites, comme sur le secteur d'Augrain, il a été nécessaire de mouiller le sol au niveau des électrodes, facilitant ainsi l'injection de courant. Des problèmes de résistance de prise élevée ont été rencontrés dans des zones où le plaquage sableux sec était important.

Les emplacements des électrodes sont numérotés de 0 m à 315 m, la position 157.5 m étant le centre dispositif. Les positions GPS des extrémités de chaque brin de la tomographie ont été prises à l'aide d'un GPS Garmin afin de les localiser précisément sur les cartes.

L'implantation des tomographies électriques est présentée sur la **figure 24**.

Excepté la tomographie **TE-4**, les dispositifs ont tous traversé une route, chemin ou ruisseau. Toutes les électrodes ont toutefois pu être implantées. Les tomographies **TE-1** et **TE-2** traversent le Pas-Sicard, à cette période complètement asséché, et une route communale barrée pour cause d'effondrement sur la chaussée.

### 4.2 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats bruts ont été traités à l'aide du logiciel Res2Dinv (GEOTOMO SOFTWARE). Ce logiciel largement utilisé pour le traitement des tomographies électriques, utilise la méthode d'inversion des moindres carrés pour produire un modèle 2D à partir de la résistivité apparente. Les données brutes prises en considérations sont celles pour lesquelles la déviation standard est inférieure à 10%. Cette dernière est un facteur qualité attribué à chaque mesure, permettant ainsi de contrôler la validité de l'acquisition.

Les données ont été ensuite filtrées visuellement afin d'éliminer du traitement les valeurs manifestement aberrantes.

Pour chaque modélisation, les résultats sont illustrés par les éléments suivants :

- **la pseudosection des résistivités apparentes mesurées ( $\Omega.m$ )** : présentation sous forme de coupe verticale des résistivités mesurées sur le terrain, en fonction de la profondeur d'investigation théorique permise par la géométrie ;
- **la tomographie des résistivités calculées ( $\Omega.m$ )** : présentation sous forme de coupe verticale de la distribution des résistivités calculées des terrains telles qu'issues de la modélisation ; la topographie a été relevée sur le terrain.

La charte des couleurs affecte les tons froids (bleus) aux résistivités les plus faibles et les tons chauds (rouges) aux résistivités les plus fortes. Pour faciliter les comparaisons, les chartes de couleurs sont identiques pour l'ensemble des tomographies présentées.

La qualité de la modélisation se mesure à la valeur RMS qui somme les écarts entre les valeurs mesurées sur le terrain et les valeurs calculées à partir du modèle issu de l'inversion. Cette valeur RMS doit donc tendre vers zéro. Une valeur inférieure à 10% indique un modèle fiable, une valeur inférieure à 5% indique un modèle très fiable. Le nombre d'itération du moteur de calcul a été limité à 5, afin de ne pas obtenir une amélioration de la valeur RMS par forçage et distorsion des résistivités calculées.

Dans la mesure du possible des entités ont été reportées sur les pseudosections. Elles soulignent la présence d'interfaces géologiques ou d'anomalies.

#### **4.2.1 Tomographie TE-1 - Augrain Nord - Le Pas-Sicard**

La première tomographie a été implantée à proximité du lieu dit Augrain, au niveau de la faille **F1**. Elle traverse d'Ouest en Est, la parcelle **XS64**, le Pas-Sicard, la route des Petits Frênes et la parcelle **XS75**. Les résultats et les interprétations de la tomographie électrique sont présentés sur la **figure 25**.

On observe vers l'Est, des terrains très conducteurs surmontés de valeurs très résistantes qui peuvent correspondre à un plaquage sableux peu épais. L'horizon conducteur, entre **7.5** et **30  $\Omega m$  (E1)**, d'une épaisseur de 10 à 15 m, correspondrait à des marnes. Elles se trouvent au-dessus d'un compartiment très résistant (**E2**), de l'ordre de **250  $\Omega m$**  assimilé aux calcaires marins présents jusqu'à environ 45 m de profondeur. Sous les calcaires, on observe de nouveau un horizon conducteur (**E3**), de l'ordre de **20  $\Omega m$**  correspondant probablement au début des formations argileuses profondes.

Ces horizons ne se continuant pas uniformément vers l'Ouest, les argiles n'apparaissant plus, la faille (**F1**) a été notée au niveau de cette rupture. A l'Ouest de cette faille, les marnes ne sont plus présentes et laissent la place à une plus grande épaisseur de sables (**E4**). Le calcaire marin est toujours présent et très épais. Les sondages mécaniques présentent des épaisseurs de sables supérieures à 10m, ce qui est également le cas en tomographie. On observe un horizon plus conducteur entre les sables et les calcaires. Cette zone peut correspondre à des terrains sablo-argileux.



Vers l'extrémité ouest du modèle, et en profondeur, les résistivités deviennent plus faibles (**E5**). Il se peut qu'une faille secondaire soit présente. Il est également possible que les calcaires soient plus fracturés ou plus marneux.

#### **4.2.2 Tomographie TE-2 - Augrain - Le Pas-Sicard**

Cette tomographie est localisée au Sud de la précédente. Elle a été implantée pour suivre la continuité de la faille **F1** et établir son orientation. Elle traverse d'Ouest en Est la parcelle **XS96**, le Pas-Sicard et la route des Petits Frênes puis la parcelle **XS82**. Les résultats et les interprétations de la tomographie sont présentés sur la **figure 26**.

Le contraste de résistivité est plus franc que sur la tomographie **TE-1**. Sur l'extrémité est du modèle, vers le bourg de Saffré, les marnes (inférieures à **30 Ωm**, **E1**) sont toujours présentes mais sur une épaisseur plus importante, de l'ordre de 25 à 30 m. Les calcaires sous-jacents n'apparaissent plus. Les marnes ont été observées sur la route reliant le bourg de Saffré au lieu dit Augrain grâce à des tranchées réalisées pour l'installation du réseau d'assainissement (**figure 8**).

Vers l'Ouest, des terrains résistants sont brutalement recoupés, ils sont assimilés aux calcaires (**E2**), permettant de positionner la faille **F1** entre les deux compartiments.

La partie ouest présente un niveau calcaire moins homogène, avec un plaquage peu épais de sables à l'extrême ouest et des résistivités plus faibles.

Des tranchées effectuées au niveau du pont traversant le Pas-Sicard et reliant le bourg de Saffré au lieu dit Augrain ont mis en évidence les calcaires à 3 m de profondeur (**figure 8**).

Ce calcaire présentait des dissolutions multiples associées à une forte venue d'eau. Le fond de la fosse a été recouvert de graves et un système de pompage des eaux a été installé le temps des travaux. Le pompage a rejeté près de 180 m<sup>3</sup> par heure dans le lit asséché de la rivière pendant plus de 24 heures, avant que le niveau de l'eau ne se stabilise.

#### **4.2.3 Tomographie TE-3 - La Chutenaie**

Cette tomographie a été implantée entre la station de pompage du SIAEP et le lieu-dit la Chutenaie, l'objectif étant de localiser la faille **F2**. Le dispositif traverse d'Ouest en Est la parcelle **XP62**, une route goudronnée menant à la ferme de la Chutenaie et la parcelle **XP169**. Les résultats et les interprétations de la tomographie sont présentés sur la **figure 27**.

Le contraste de résistivité est beaucoup moins important que précédemment. Les résistivités les plus fortes sont de l'ordre de **120 Ωm** et sont localisées au-delà de 25 m de profondeur. Ces zones résistantes sont associées aux calcaires marins (**E1**). Elles sont surmontées à l'Est de la faille, par une épaisseur importante de marnes et marnes argileuses (**E2**). La station de pompage dispose de forages qui traversent ces marnes et atteignent le calcaire à environ 30 m de profondeur. La tomographie nous fournit donc ici une bonne estimation des épaisseurs.

Vers l'Ouest, le calcaire est plus proche de la surface et tend à venir à l'affleurement. On retrouve également des marnes mais sur des épaisseurs beaucoup moins importantes.

La zone faillée a été positionnée à l'endroit de la discontinuité entre les calcaires, et en corrélation avec les données de sondages disponibles.

#### 4.2.4 Tomographie TE-4 - La Minoterie

Cette tomographie est localisée sur la partie nord du bassin de Saffré, dans l'objectif de repérer la faille **F4**. Le dispositif a traversé du Nord au Sud, les parcelles **ZE24** et **ZE51**. Les résultats sont présentés sur la **figure 28**.

Sur la partie sud de la tomographie, on retrouve les marnes (**E1**) observées sur les tomographies **TE-1** et **TE-2**, présentes au dessus des calcaires (**E2**). Ces derniers, présents sur la partie sud disparaissent brutalement, laissant place à l'Est à des résistivités très faibles assimilées aux argiles profondes (**E3**). Ces argiles sont surmontées par des marnes sur moins de 10 m, elles mêmes surmontées par un plaquage sableux important. Ces derniers horizons ont tendance à disparaître vers le Nord. La faille **F4** a été localisée au niveau de l'arrêt brutal de l'horizon calcaire. La présence de sables pourrait être le témoin du remplissage d'une paléo vallée.

Lors de la campagne de mesure, les argiles vertes ont été observées vers 6 m de profondeur à environ 100 m à l'Est de la position 240 m de la tomographie électrique. Ces argiles sont surmontées d'une épaisseur importante de sables et d'une couche d'environ 1 m de marnes blanches.

#### 4.2.3 Tomographie TE-5 - L'Apsiguais

La dernière tomographie est localisée au Sud de Saffré, elle est positionnée perpendiculairement à la **D39** menant au bourg et parallèlement au ruisseau de l'Apsiguais. Elle est implanté dans les parcelles **XP56** et **YC16**.

Cette tomographie avait pour objectif de mettre en évidence le couloir de failles supposé par les interprétations des cartes de résistivité (**figure 29**).

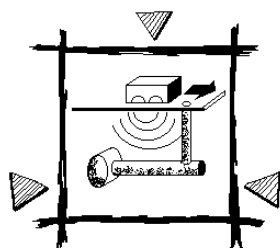
Sur cette tomographie, on peut observer une structure quasiment verticale, localisée sur la partie ouest. Cette structure recoupe des terrains très conducteurs à l'Est et à l'Ouest (inférieurs à **20  $\Omega$ m**) et présente des résistivités supérieures à **60  $\Omega$ m**. Ces terrains, assimilés à des calcaires (**E2**), séparent à l'Ouest les marnes argileuses (**E1**), et à l'Est, les argiles vertes (**E3**).

Ce jeu de failles a permis de ramener les calcaires à proximité de la surface. Ils sont surmontés par endroit de sables ou d'argiles sableuses. Vers l'Ouest et l'intérieur du bassin, le calcaire est bien plus profond.

Les deux failles majeures ont été localisées aux positions 50 m et 120 m.

### 4.3 - CONCLUSION

Les tomographies électriques ont pu mettre en évidence les failles observées par la cartographie électromagnétique. A proximité de certaines tomographies, il a été possible de faire des observations de terrain, permettant ainsi une meilleure interprétation. Les sondages mécaniques ont également aidé à l'interprétation, en particulier pour la tomographie **TE-3**, qui ne présente pas un contraste de résistivité très important.



## 5 - SONDAGES ELECTRIQUES

Pour confirmer les interprétations établies après la campagne électromagnétique et les tomographies électriques et pour apporter de plus amples renseignements dans les zones de lacunes, il a été réalisé des sondages électriques verticaux, qui donnent des coupes assez précises du sous-sol.

### 5.1 - LOGISTIQUE ET APPROCHE PRATIQUE

Dix sondages électriques Schlumberger en  $AB/2 = 300$  m ont été réalisés avec un Terrameter SAS 300C (ABEM). Le courant injecté a progressé de 1 mA à 20 mA, en fonction de l'écartement du dispositif. Chaque mesure a fait l'objet de 4 injections, jusqu'à stabilisation, permettant la validation du point.

Pour chaque sondage, 25 valeurs, avec 3 espacements de MN : 0.5, 6 et 24 m, ont permis la construction de la courbe. Un embrayage a été réalisé à  $AB/2=8$  m et  $AB/2=40$  m. Les embrayages sont nécessaires quand le potentiel mesuré est faible (MN devient trop petit par rapport à AB).

Les mesures ont été relevées à la main et la courbe de résistivité est tracée au fur et à mesure du sondage, ce qui permet un contrôle de la qualité : à-coups de prise (phénomènes liés à la présence d'objets très résistants à proximité d'une électrode d'injection), distance non respectée, etc.

Les profondeurs d'investigation sont dépendantes des terrains traversés. Plus les terrains sont résistants, plus la profondeur d'investigation est grande. Dans le cas général, un dispositif  $AB/2=300$  m permet d'atteindre des profondeurs de l'ordre de 60 m.

Le sondage électrique permet de connaître la variation de la résistivité du sous-sol en fonction de la profondeur à l'aplomb d'un point. Cette méthode n'est applicable que lorsque les terrains sont dits tabulaires et latéralement uniformes. On évitera donc, contrairement à la tomographie électrique, de se mettre perpendiculairement aux failles. Toutefois, compte-tenu du déploiement des électrodes, ça n'a pas toujours été le cas. Certains sondages traversent une zone de faille et ont donc nécessité un filtrage des mesures avant la réalisation des modèles.

L'implantation des sondages électriques verticaux, ou **SEV**, fait l'objet de la [figure 30](#).

### 5.2 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les données de sondage électrique ont été pré-interprétées manuellement puis validés par le logiciel IX1D, développé par INTERPEX.

Pour les interprétations et la réalisation des modèles, ont été étalonnés avec les données de forages quand cela a été possible.

Les résultats obtenus après inversion des données sont présentés ci-après. Les données, courbes géoélectriques et modèles seront disponibles en **annexe 3**. Les modèles sont présentés avec les équivalences (pointillés verts). En effet, pour une même courbe de résistivités apparentes, il existe plusieurs modèles d'interprétation parfois complètement différents. Cette représentation permet de valider les hypothèses retenues.

### 5.2.1 Sondage électrique vertical n°1

Ce premier sondage est implanté à l'extrême nord de la zone d'étude. Il a traversé la faille **F1** au niveau des écartements AB/2 de 200 m et 300 m. Ces deux dernières valeurs ont été retirées avant inversion. La tendance de la courbe observée avant le franchissement de la faille est inverse de celle amorcée sur les deux dernières positions (**figure 31**).

Le modèle obtenu est à 5 couches. L'erreur RMS est de 5.18%. La profondeur d'investigation est supérieure à 30 m.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 1	Résistivité ( $\Omega\text{m}$ )	Epaisseur (m)	Profondeur (m)	Interprétation
Horizon 1	605.0	1.40	1.40	Sables siliceux
Horizon 2	10.5	1.10	2.50	Marnes-argiles altérées
Horizon 3	43.5	10.0	12.50	Sables siliceux argileux
Horizon 4	73.0	18.5	31.0	Calcaires marins
Horizon 5	24.5			Argiles vertes

**Tableau 4 Sondage électrique n°1**

Les équivalences au niveau des résistivités sont assez faibles. Elles sont par contre plus élevées en ce qui concerne l'épaisseur des niveaux conducteurs.

Ce sondage confirme la présence de calcaire franc dans la partie nord-ouest du bassin, sous 2.5 m de sables et de marnes altérées ou d'argiles.

### 5.2.2 Sondage électrique vertical n°2

Ce sondage est localisé à proximité du lieu-dit Augrain. Il est subparallèle à la faille **F1**.

Le modèle obtenu est à 4 couches. L'erreur RMS est de 6.20%. La profondeur d'investigation est supérieure 52 m. Les équivalences sont globalement très faibles.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 2	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur (m)	Interprétation
Horizon 1	660.0	1.0	1.0	Sables et graviers
Horizon 2	158.0	8.5	9.5	Sables argilo-graveleux
Horizon 3	125.5	41.0	50.5	Calcaires marins
Horizon 4	23.0			Argiles vertes

**Tableau 5 Sondage électrique n°2**

Ce sondage rend également compte de la présence d'un horizon calcaire, il est ici plus profond et plus épais que sur le **SEV 1**. Il est directement surmonté par des sables dont l'épaisseur est proche de 10 m.

### 5.2.3 Sondage électrique vertical n°3

Ce sondage est localisé à l'Est de la faille **F1** et est subparallèle au **SEV 2**.

Le modèle obtenu est à 6 couches. L'erreur RMS est assez faible de l'ordre de 4.06%. La profondeur d'investigation est supérieure à 72 m.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 3	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	550.0	1.3	1.3	Sables et graviers
Horizon 2	32.5	7.7	9.0	Marnes
Horizon 3	307.5	4.5	13.5	Faluns - Grès ?
Horizon 4	20.0	13.0	26.50	Argiles marneuses
Horizon 5	295.5	46.5	73.0	Calcaires marins
Horizon 6	5.0			Argiles vertes

**Tableau 6 Sondage électrique n°3**

Les équivalences sont faibles pour les terrains superficiels ; mais il y a des incertitudes sur les horizons 3, 4 et 5, notamment sur l'horizon 3. Nous nous sommes basés sur le forage **S21** réalisé par LAFARGE (1964-66) situé à proximité du sondage, pour établir la succession lithologique ; mais la présence de faluns ou de grès dans ces formations paraît bizarre, il peut s'agir d'un niveau calcaire plus compact.

### 5.2.4 Sondage électrique vertical n°4

Ce sondage est localisé dans la partie centrale du bassin, partie où la subsidence est supposée la plus importante.

Le modèle obtenu est composé de 4 horizons. L'erreur RMS est de 3.01%. La profondeur d'investigation est supérieure à 25 m.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 4	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	365.5	0.8	0.8	Sables et graviers
Horizon 2	32.0	8.5	9.3	Marnes
Horizon 3	8.5	21.0	30.3	Marnes-argileuses
Horizon 4	51.0			Calcaires marins

**Tableau 7 Sondage électrique n°4**

Les calcaires marins sont trouvés à près de 30 m de profondeur, sous un puissant horizon de marnes et de marnes argileuse. Le recouvrement par les sables quaternaires est très réduit.

### 5.2.5 Sondage électrique vertical n°5

Ce sondage se situe au niveau de la double faille **F3** bordant le bassin à l'Est.

Le modèle présente une succession de 7 couches. L'erreur RMS est faible : 2.01%. La profondeur d'investigation est supérieure à 95 m, malgré la présence de terrains conducteurs en surface.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 5	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	161.0	0.7	0.7	Sables et graviers
Horizon 2	33.5	1.5	2.2	Marnes
Horizon 3	59.0	5.0	7.2	Marno-calcaire
Horizon 4	10.5	4.0	11.2	Marnes argileuses
Horizon 5	102.5	19.5	30.7	Calcaires marins
Horizon 6	14.5	65.0	95.7	Argiles vertes
Horizon 7	67.0			Argiles

**Tableau 8 Sondage électrique n°5**

Les équivalences sont globalement très faibles. On peut cependant apporter des réserves sur la détermination des deux dernières couches. En prenant en compte que les valeurs mesurées à AB/2 = 300 m sont très faibles et que le sondage se trouve dans une zone traversée par une faille en profondeur, l'erreur sur la dernière mesure peut être importante et donc fausser l'interprétation sur les deux dernières couches, qui n'en formeraient au final qu'une seule de résistivité inférieure à 15 Ωm.

### 5.2.6 Sondage électrique vertical n°6

Ce sondage est localisé à l'extrémité sud-est de la zone d'étude et est situé sur la partie externe du bassin.

Le modèle obtenu est composé de 4 couches. L'erreur RMS est plus importante que pour les précédents sondages : 4.54%. La profondeur d'investigation est supérieure à 30 m. Au regard des données, il a été établi que le dispositif a potentiellement rencontré une faille entre les positions AB/2=150 m et 200 m. Les deux derniers points de mesure (AB/2=200 m et 300 m) ont donc été écartés (**figure 31**).

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 6	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur (m)	Interprétation
Horizon 1	138.0	0.4	0.4	Sables et graviers
Horizon 2	13.5	3.6	4.0	Argiles vertes
Horizon 3	5.6	21.5	25.5	Argiles vertes
Horizon 4	18			Argiles vertes

**Tableau 9 Sondage électrique n°6**

Les équivalences sont relativement peu importantes sur les résistivités, par contre elles sont moins bonnes sur les épaisseurs. Les résistivités sont faibles à partir de 0.40 m et correspondent aux argiles vertes, les différents horizons doivent correspondre à des qualités d'argiles variables.

### 5.2.7 Sondage électrique vertical n°7

Ce sondage est localisé à l'extrémité sud de la carte, au niveau de l'ancienne station de pompage. Cette zone est le lieu de nombreux effondrements dans le lit du ruisseau et en bordure.

Le modèle est à 5 couches. L'erreur RMS est de 2.46%. La profondeur d'investigation est supérieure à 50 m.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 7	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	115.5	0.2	0.2	Sables
Horizon 2	328.5	1.0	1.2	Sables et graviers
Horizon 3	133.0	14.0	15.2	Calcaires marins
Horizon 4	57.5	33.5	48.7	Marno-calcaire
Horizon 5	26.5			Argiles vertes

**Tableau 10 Sondage électrique n°7**

Les équivalences sont faibles sur l'ensemble du modèle.

Ce sondage montre la présence des calcaires marins directement sous une faible épaisseur de sables et graviers.

### 5.2.8 Sondage électrique vertical n°8

Ce sondage est localisé au niveau du lieu-dit la Chutenaie, parallèlement à la faille présumée **F2**.

Le modèle obtenu est composé de 6 horizons. L'erreur RMS est de 4.16%. La profondeur d'investigation est supérieure à 35 m.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV 8	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	218.0	0.3	0.3	Sables et graviers
Horizon 2	35.0	2.5	2.8	Marnes
Horizon 3	14.0	6.5	9.3	Marnes argileuses
Horizon 4	302.5	10.0	19.3	Calcaires marins
Horizon 5	93.5	14.0	33.3	Calcaires marins
Horizon 6	18.0			Argiles vertes

Tableau 11 Sondage électrique n°8

Le modèle est globalement assez bien contraint. Les équivalences sont moyennes.

Ce sondage confirme les interprétations de la tomographie **TE-3**, c'est-à-dire la présence des calcaires marins proches de la surface, surmontés par des marnes. Le sondage montre par ailleurs un horizon argileux sous les calcaires.

### 5.2.9 Sondage électrique vertical n°9

Ce sondage est localisé au Nord de Saffré, entre la faille **F2** et le sondage **SEV 3**.

Le modèle est composé de 6 horizons. L'erreur RMS est de 3.21%. La profondeur d'investigation est supérieure à 26 m.

L'interprétation proposée du sondage est la suivante :



SEV n°9	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	517.5	0.5	0.5	Sables et graviers
Horizon 2	58.0	3.5	4.0	Marno-calcaire
Horizon 3	162.0	2.0	6.0	Calcaires
Horizon 4	12.0	6.0	12.0	Marnes argileuses
Horizon 5	86.0	14.0	26.0	Calcaires marins
Horizon 6	16.5			Argiles vertes

**Tableau 12 Sondage électrique n°9**

Ce sondage présente des alternances de marnes et calcaires sur une douzaine de mètres d'épaisseur, avant de rencontrer les calcaires marins. Dans ce secteur, l'épaisseur de la formation paraît peu importante.

### 5.2.10 Sondage électrique vertical n°10

Ce dernier sondage est localisé dans la bordure nord du bassin de Saffré.

Le modèle est à 4 couches. L'erreur RMS est de 6.93%. La profondeur d'investigation est supérieure à 35 m.

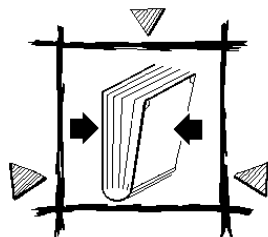
L'interprétation proposée du sondage est la suivante :

SEV n°10	Résistivité (Ωm)	Epaisseur (m)	Profondeur /NGF (m)	Interprétation
Horizon 1	281.0	0.50	0.5	Sables et graviers
Horizon 2	108.5	4.5	5.0	Sables
Horizon 3	12.5	56.0	35.5	Argiles vertes
Horizon 4	83.5			Argiles sableuses

**Tableau 13 Sondage électrique n°10**

Le modèle est relativement bien contraint et présente des équivalences globalement faibles, excepté sur l'épaisseur et la résistivité du tout premier terrain.

Les calcaires ne sont plus présents dans cette partie du bassin. Il n'existe plus que les formations argileuses composant la base de la série sédimentaire.



## 6 - SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE À PARTIR DES DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Est exposé ici l'intégralité des interprétations faites à partir des données de la prospection géophysique, des cartes et coupes géologiques existantes, et des logs des différentes campagnes de forages réalisées ces 60 dernières années. Une carte d'implantation générale des méthodes permettant d'appréhender la densité d'information disponible est présentée en **annexe 1** (**figure 32**).

Le bassin de Saffré est traversé par un réseau complexe de failles qui découpent plusieurs compartiments. La partie centrale du bassin, localisée approximativement à l'aplomb du lieu-dit Le Rocher, a été le lieu d'une forte subsidence et d'un important dépôt sédimentaire. On y retrouve d'ailleurs l'ensemble de la série sédimentaire qui s'est déposée sur le socle schisto-gréseux fracturé, reconnu en forage à près de 330 m de profondeur.

Le bassin est globalement régi par quatre accidents majeurs dont la présence a été confirmée par les tomographies électriques. Elles délimitent un losange dont la grande diagonale est orientée presque Nord-Sud à l'intérieur duquel la série sédimentaire paraît s'épaissir vers le Sud - Sud-Est. La présence d'une cinquième faille **F5**, subparallèle à la faille bordière **F3** du cœur du bassin à l'Est - Sud-Est a été révélée à partir de l'analyse des cartes des résistivités. Elle délimite ainsi un couloir surélevé légèrement oblique par rapport à la route de Grandchamp-des-Fontaines au Sud du bourg de Saffré.

À l'Est des failles **F3** et **F4**, situées respectivement au Sud-Est et au Nord-Est du bassin, les formations profondes de la série sédimentaire tertiaire sont à l'affleurement. Les horizons calcaires et marneux supérieurs ne sont donc pas présents à l'Est de ces failles.

La partie extrême sud-est est probablement recoupée par d'autres accidents présents le long de l'Apsiguais, ainsi que le suggère la carte géologique (**figure 3**). Ceux-ci n'ont pas été révélés par la prospection géophysique. Les terrains, composés essentiellement d'argiles, ne présentent pas des contrastes de résistivités suffisamment importants pour qu'une faille soit mise en évidence par la cartographie électromagnétique.

À l'Ouest des failles **F1** et **F2**, situées respectivement au Nord-Ouest et au Sud-Ouest, les formations calcaires sont subaffleurantes. Au niveau de la Chutenaie et d'une grande partie du village d'Augrain, le calcaire est surmonté d'une épaisseur de quelques mètres de marnes. Le plan d'eau localisé au centre du hameau ne présente d'ailleurs pas de fontis et reste en eau une grande partie de l'année. Il ne s'assèche pas prématurément, contrairement aux écoulements des cours d'eau de Pas-Sicard et de Puceul.

Plus au Sud et plus à l'Ouest, ces marnes sont remplacées par des horizons sableux. Au Nord du village d'Augrain, le calcaire marin est recouvert par une couche sableuse de plus en plus importante vers le Nord, où elle dépasse 20 m dans le secteur du Jarrier.

*Remarque : cette analyse est une représentation simplifiée de la structure réelle du bassin de Saffré qui doit être plus complexe du fait de la présence de failles secondaires dont les plus faibles rejets demeurent difficiles à déceler à l'aide des seules mesures géophysiques.*

En comparant la géologie des terrains et la position des effondrements, il peut ainsi être établi que les zones où la formation d'effondrements est la plus fréquente correspondent à des secteurs où :

- le calcaire marin est proche de la surface,
- le calcaire est surmonté par une faible épaisseur de sables,
- une faille a été mise en évidence à proximité,
- un écoulement superficiel temporaire existe.

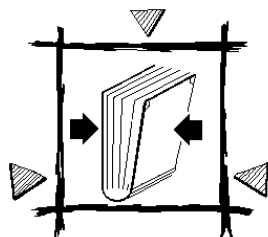
Ces zones sont donc localisées majoritairement :

- à la périphérie ouest du bassin, sur le tronçon où le cours du Pas-Sicard longe la faille bordière **F1**,
- dans le couloir de faille **F3** bordant le bassin à l'Est et sur lequel s'écoule l'Isac.

La géologie du centre bourg de Saffré a suscité de nombreuses interrogations. Le contexte urbain étant peu propice à des investigations géophysiques, le nombre de mesures effectuées y est très faible et ne permet pas d'appréhender de façon satisfaisante la nature des terrains. Compte tenu de la vulnérabilité de cette zone, il a été proposé l'implantation de quatre sondages de reconnaissance afin de combler cette lacune. De plus, ces ouvrages apporteront des renseignements sur le fonctionnement hydrogéologique du bassin et sur les relations entre l'Isac et l'aquifère calcaire exploité pour l'AEP. Ces ouvrages ont été réalisés en janvier 2012.

Pour compléter la connaissance de la géologie du bourg, les rapports de plusieurs études géotechniques concernant des maisons existantes ou bien des projets de construction, ont été collectés auprès de la mairie de Saffré.

Dans les chapitres suivants sont donc exposées les informations complémentaires obtenues grâce à ces quatre sondages et à ces données géotechniques. Elles ont permis de finaliser les coupes géologiques ainsi que la carte géologique de synthèse présentée dans la **partie 8**.



## 7 - APPORT DES DONNEES GEOLOGIQUES RECENTES

### 7.1 - APPORT DES QUATRE PIEZOMETRES COMPLEMENTAIRES

#### 7.1.1 Implantation des sondages

La réalisation de ces ouvrages a été confiée à la société BONNIER FORAGES basée à la Guerche-de-Bretagne pour le compte du SIAEP de la Région de Nort-sur-Erdre. Les ouvrages ont été réalisés au cours du mois de janvier 2012.

L'implantation des quatre forages découle des informations géologiques déduites des études précédentes (données bibliographiques, campagne géophysique). Ils ont été placés dans des secteurs névralgiques où subsistaient des incertitudes sur la nature géologique du sous-sol ([figure 33](#)).

Trois forages ont été implantés le long d'un profil ouest - est de façon à mieux localiser la position des failles d'extension Nord-Sud qui encadrent le cours de l'Isac, et à préciser la nature des terrains constituant le couloir encadré par ces failles :

- un premier sondage (appelé ici Pz27 ou F1) a été implanté dans l'angle sud-ouest du parking situé derrière la mairie de Saffré ;
  - le second forage (Pz28 ou F2) a été foré dans l'ancienne cour de l'ancienne école Saint Joseph, non loin de l'Isac ;
  - le troisième (Pz29 ou F3) a été réalisé dans le jardin public bordant l'Isac en rive gauche, de l'autre côté de la passerelle piétonnière franchissant le cours d'eau ;
- Le dernier forage (Pz30 ou F4) a été implanté dans l'angle sud-ouest du stade de Saffré, entre la salle de sports et l'école.

#### 7.1.2 Données techniques sur les forages

Les forages ont été réalisés au moyen d'une sondeuse Ecofore 1203 à l'Odex avec tubage à l'avancement au droit des formations meubles. La foration était en diamètre de 211 mm, avec de l'air comme fluide de foration. Lors de la traversée de passages particulièrement argileux et collants, l'ajout d'eau par le haut du forage a été parfois nécessaire.

Les ouvrages ont été équipés en piézomètres par la pose d'un tubage PVC plein ou crépiné de 90 mm de diamètre, avec pose d'un bouchon de fond. Un massif filtrant de gravier remplit l'espace annulaire depuis le fond jusqu'à 5 m de la surface. Une cimentation sous pression a été réalisée entre la surface et 5 m de profondeur.

La tête de chaque ouvrage est constituée par un capot en acier fermant à clé et scellé dans un socle de béton surélevé par rapport au sol.

Les ouvrages ont ensuite fait l'objet d'un pompage de nettoyage à l'air lift.

Les caractéristiques principales de ces 4 forages sont résumées dans le tableau ci-après :

Forages	Pz 27 (ou F1)	Pz 28 (ou F2)	Pz 29 (ou F3)	Pz 30 (ou F4)
Date réalisation	6 au 10/01/12	10 et 11/01/12	11 et 12/01/12	13 au 16/01/12
<i>Localisation et profondeur</i>				
X (Lambert II)	305.050	305.160	305.190	305.200
X (Lambert II)	2 285.250	2 285.230	2 285.220	2 285.470
Z sol (m NGF)	26.91	26.68	26.28	27.73
Profondeur / sol (m)	16	16	18	16
Prof. crépines / sol (m)	6.5 à 15.5 m	10 à 16 m	7.5 à 17.5 m	8 à 16 m
Horizon capté	marno-calcaires lacustres	calcaires marins	calcaires marins	sables argileux à débris calcaires
<i>Mesures piézométriques</i>				
Repère de mesure	Haut tube PVC	Haut tube acier	Haut tube acier	Haut tube acier
Z repère (m NGF)	27.54	27.38	26.98	28.43
Niveau d'eau / repère le 20/01/12	2.89	3.90	3.505	4.99
Prof. du fond /repère	15.20	16.33	19.05	15.95

**Tableau 14 Caractéristiques des piézomètres**

### 7.1.3 Données géologiques obtenues

L'analyse des cuttings des forages et des différents échantillons prélevés ont permis de lever les coupes géologiques présentées ci-après. Dans les horizons les plus superficiels, les échantillons ont été prélevés tous les 0,25 m pour mieux apprécier les variations de faciès. Par la suite, les prélèvements ont été réalisés tous les mètres ou à chaque changement de faciès constaté en cour de foration. Les coupes interprétées sont représentée sur les [figures 34 à 37](#).

Suite aux premières observations, des similitudes ont été constatées entre les coupes des forages F1, F2 et F3 (respectivement Pz27, Pz28 et Pz29) Ils présentent en effets des alternances de terrains argileux et marneux plus ou moins calcaires. Le forage F4 (Pz30) présente quant à lui des terrains de nature beaucoup plus sableuse et n'a pas rencontré de formations carbonatées. L'ensemble des ouvrages a traversé un horizon superficiel de faible épaisseur (<2m) composé d'argiles sableuses et de graviers.

Le forage F1 (Pz27) a rencontré, en dessous des terrains superficiels, des niveaux de marnes argileuses jusqu'à 5 m de profondeur avec des passées marno-calcaires. On rencontre ensuite des terrains marno-calcaires plus durs sur près de 2 m d'épaisseur. Les terrains sous-jacents sont ensuite de plus en plus argileux avec quelques passées marneuses, jusqu'à atteindre des argiles vertes à 13 m de profondeur.

Les terrains traversés par ce forage sont attribués à la formation des marnes et marnes argileuses présente au dessus des calcaires marins et subaffleurante dans la partie centrale du bassin (**figure 6**). Le calcaire marin n'a pas été recoupé par le sondage. Il se trouve vraisemblablement à plus grande profondeur.

Les forages F2 (Pz28) et F3 (Pz29) sont très semblables. Localisés plus à l'Est du forage F1, ils traversent des formations argileuses et argilo-marneuses avec des fragments de calcaire jusqu'à environ 7 m de profondeur. Ils traversent ensuite des calcaires marneux avec quelques passées argileuses jusqu'à environ 14 m de profondeur. Au delà, on rencontre des calcaires tendres et friables jusqu'au fond de forage (16 m à 18 m de profondeur).

Les calcaires marneux rencontrés vers 7 m sont attribuées à la partie sommitale altérée des calcaires marins. Au-delà de 13 à 14 m, le calcaire est franchement moins argileux. Il apparaît fracturé et associé à des éléments terrigènes sur le forage F3 (Pz 29). Il est vraisemblable que les terrains rencontrés en F3 se trouvent à proximité d'une zone de faille entraînant une fracturation du calcaire marin et facilitant ainsi les phénomènes d'altération. Localisé entre les deux forages, l'Isac est potentiellement un facteur aggravant de l'altération de l'apex des calcaires.

Les coupes géologiques différentes rencontrées entre F1 (Pz27) et F2 (Pz28) confirment la présence d'une faille Nord-Sud entre les deux forages, avec le compartiment oriental surélevé, faisant remonter à proximité de la surface les calcaires marins qui constituent l'aquifère exploité par les deux forages du SIAEP. Ces éléments viennent conforter l'interprétation géologique qui avait été faite de ce secteur. Toutefois un horizon à dominante argilo-marneuse recouvre ces calcaires sur une épaisseur de 10 à 11 m.

Le forage F4 (Pz30), localisé au Nord du bourg de Saffré et à proximité du gymnase, a recoupé sur sa totalité des sables argileux et des argiles sableuses. Les formations sableuses rencontrées en fond de forage renferment des fragments calcaires qui pourraient provenir de l'érosion de formations carbonatées. Les mesures géophysiques, électriques et électromagnétiques, confirment la présence d'une épaisse couche de sable le long de la faille **F4** bordant le bassin au Nord. Il est donc envisageable qu'une paléovallée se soit mise en place le long de la faille, ou à proximité, et soit à l'origine des dépôts sableux rencontrés sur cet axe NO-SE.

Les cartes de résistivités présentent des terrains conducteurs en profondeur. Ces horizons sableux se sont donc déposés directement sur les argiles vertes. Les calcaires marins ne sont pas présents.

La réalisation des sondages de reconnaissance a donc permis de confirmer et de préciser le modèle géologique émis suite à la campagne géophysique :

- Le forage F1 (Pz27) est localisé dans la partie interne du bassin et n'a pas rencontré les formations marines recherchées. Étant donné les épaisseurs importantes des formations marneuses présentes au-dessus des calcaires marins, le risque karstique peut donc être considéré comme nul.

- Les forages F2 (Pz28) et F3 (Pz29) ont rencontré les calcaires marins à proximité de la surface. Ces derniers présentent une altération importante à leur partie sommitale et sont fracturés en profondeur. L'hypothèse d'un système de faille remontant ces horizons calcaires est donc confirmée.
- Le forage F4 (Pz30) a rencontré une épaisseur importante de sables et d'argiles sableuses mais n'a pas rencontré de calcaires marins. Seuls, quelques fragments calcaires ont été observés dans les horizons profonds de l'ouvrage. Il se peut que se soient des témoins de l'érosion de formations carbonatées. Ce forage est situé au Nord de la faille **F4** en bordure du compartiment **(E2)** (figure 17), où les calcaires ne sont pas censés être présents. Toutefois, ce forage ne permet pas de conclure à son absence.

#### **7.1.4 Données hydrogéologiques obtenues**

Il n'a pas été rencontré de venues d'eau importantes sur le forage F1 (Pz27). Les premiers indices d'humidité ont été rencontrés à partir de 4,5 m de profondeur. Les maigres arrivées d'eau recoupées se trouvaient essentiellement au droit des marnes argileuses à passées marno-calcaires recoupées entre 5 et 7 m de profondeur.

Sur le forage F2 (Pz28), aucune arrivée d'eau significative n'a été constatée avant 10 m de profondeur. A partir de 10 m, une faible arrivée d'eau a collé les terrains argilo-marneux sur le tubage et obturé la sortie des matériaux forés. Par contre une arrivée d'eau très importante a été rencontrée dans les calcaires entre 14 m et 15 m de profondeur. A cette arrivée d'eau sont associés des débris d'éléments carbonneux faisant penser à un remplissage de conduit karstique. Ce dernier serait toutefois de taille modeste puisqu'aucune chute d'outil n'a été remarquée en cours de foration.

Au cours de la foration de F3 (Pz29) des pertes quasi-totales d'air ont été constatées entre 3 et 6 m de profondeur au droit d'un horizon d'argiles peu consolidées. Les premières venues d'eau sont apparues entre 8 et 9 m, au niveau d'un horizon calcaire à inter-lits argileux. Après un passage argileux peu épais, d'autres arrivées d'eau plus importantes ont été rencontrées dans les calcaires francs et fracturés vers 17 m de profondeur. L'eau est de teinte gris foncé, traduisant la présence d'éléments terrigènes associés probablement à une zone de fracturation.

Les forages F2 et F3, bien que proches de l'Isac, ne paraissent pas en connexion hydraulique avec la rivière. Les arrivées d'eau sont en effet rencontrées beaucoup plus bas que le fond de son lit. Au moment de la foration, les écoulements dans l'Isac avaient repris depuis environ 1 mois.

Sur le forage F4 (Pz30), les premiers indices d'humidité ont été rencontrés vers 4 m de profondeur dans des sables, puis à 5 m de profondeur les sables argileux étaient saturés en eau.

## 7.2 - APPORT DES ETUDES GEOTECHNIQUES

### 7.2.1 Etude SIMECSOL sur la station de traitement d'eau potable

La société SIMECSOL a réalisé, à la demande de la DDAF de Loire-Atlantique, et pour le compte du SIAEP de Nort-sur-Erdre, des reconnaissances de sols sur les sites susceptibles d'accueillir l'usine des eaux actuellement en activité. Ces études réalisées durant l'année 1994 avaient pour objectif de caractériser les terrains, de rechercher d'éventuelles conséquences de phénomènes karstiques profonds sur les terrains superficiels, de définir les caractéristiques mécaniques des terrains et de fournir des recommandations générales relatives aux terrassements et aux fondations du projet.

Les reconnaissances ont été menées entre la ferme de la Chutenaie et l'usine actuelle, à proximité de la faille **F2**.

On recense :

- 31 sondages au pénétromètre dynamique lourd (6.5 m - 18.4 m de profondeur)
- 20 sondages de reconnaissance au tractopelle (4.1 m - 4.6 m de profondeur)
- une campagne de microgravimétrie (504 stations).

Les investigations effectuées au niveau de l'actuelle usine ont mis en évidence deux secteurs géologiquement différents séparés par une faille orientée NNW-SSE :

- le compartiment NE présente des formations argileuses sur des épaisseurs importantes, au moins 17 à 22 m ;
- le compartiment SW présente des formations argileuses à rognons calcaires surmontant des calcaires sur de faibles épaisseurs au Sud-Est (6 m - 7.5 m) et sur de plus fortes épaisseurs au Nord-Est (9 m - 12.5 m)

Les argiles observées à l'Est de la faille présentent par endroit des zones décomprimées. Ces déficits locaux de densité observés au sein des argiles ne sont cependant pas attribués à des phénomènes de soutirages karstiques profonds.

Les terrains observés à l'Ouest de la faille présentent des formations plus hétérogènes en surface, avec à faible profondeur des calcaires potentiellement propices au développement de phénomènes de dissolution de type karstique.

Les études menées par SIMECSOL viennent donc confirmer la présence à cet endroit du bassin de la zone faillée **F2** qui sépare des terrains marno-argileux à l'Est, des terrains calcaires à l'Ouest.

### 7.2.2 Etude globale CEBTP

La société CEBTP est intervenue en 2005 sur la commune de Saffré pour le compte du SIAEP de la région de Nort-sur-Erdre et dans le cadre d'un diagnostic géotechnique en vue de rechercher des cavités karstiques.

L'étude a été effectuée sur un secteur principal situé de part et d'autre de l'avenue du Château (sur environ 4.5 ha) et sur 3 secteurs complémentaires :



- propriété de la « la Maçonnerie » à Augrain ;
- lieu-dit « La Mortraie » ;
- lieu-dit « La Chutenaie ».

La campagne d'investigation a comporté :

- 1 campagne de mesures géophysiques de type microgravimétrique sur le site principal (351 stations) ;
- 38 sondages destructifs de 15 à 30 m de profondeur.

La campagne microgravimétrique a été réalisée dans un premier temps en vue d'implanter les sondages destructifs dans des zones anomaliques potentiellement karstifiées. Un total de 17 anomalies ont été recensées sur le premier site et ont donc fait l'objet de contrôles au moyen de sondages destructifs.

Les reconnaissances effectuées à l'aplomb des anomalies mettent en évidence des terrains limoneux, plus ou moins argileux, à passages caillouteux, sur des épaisseurs comprises entre 1 m et 5.5 m. Suite à ces limons, on observe des alternances d'argiles brunes, d'argiles molles et quelquefois d'argiles marneuses jusqu'à des profondeurs comprises entre 10 m et 20 m de profondeur. Au-delà, des argiles marneuses et marno-calcaires sont observés jusqu'à l'arrêt des sondages.

D'après les logs fournis, des vides auraient été traversés sur deux sondages (SD3 et SD13) entre 2.6 m et 4.6 m, et entre 13.8 m et 15.2 m. De plus, de nombreuses pertes ou de retours difficiles de fluide d'injection ont été constatés sur la majorité des sondages. *A contrario*, les diagraphies des forages ne relèvent pas d'indices flagrants de présence de vides. On constate également que ces indices attribués à des cavités sont localisées dans des horizons argileux. Or les conduits karstiques ne se forment qu'au sein de formations carbonatées, qui sont présentes à plus grande profondeur.

Compte tenu de ces différents éléments, il nous paraît plus pertinent d'associer ces anomalies gravimétriques à des épaisseurs de terrains argileux décomprimés, plutôt qu'à des zones de vides karstiques.

Les sondages situés à l'extrême est de cette zone d'étude recoupent des argiles bleutées dès la subsurface. Ces sondages sont manifestement implantés dans un compartiment différent de celui reconnu plus à l'Ouest, ce qui vient conforter l'hypothèse du système de failles **F3**. Ces sondages sont implantés dans la formation des argiles vertes qui est située dans la série stratigraphique sous les calcaires marins aquifères.

Les six sondages effectués sur les trois autres sites complémentaires (la Chutenaie, Mortraie et Augrain-Maçonnerie) ont quant à eux, mis en évidence des terrains marno-calcaires sur quasiment toute la hauteur forée (15 à 22 m). Aucun vide significatif n'a été rencontré sur ces ouvrages. Les calcaires marins se trouvent donc plus en profondeur.

### **7.2.3 Etude ARCADIS sur l'extension du restaurant scolaire**

A la demande de ECODIAG INGENIERIE et pour le compte de la commune de Saffré, la société ARCADIS est intervenue en février 2008 pour réaliser une étude géotechnique d'avant projet, dans le cadre de l'extension du restaurant scolaire (rue de la Fontaine Saint-Pierre, Saffré). L'étude a consisté en la réalisation de :

- deux sondages au pénétromètre dynamique (10 m de profondeur) ;
- un sondage de reconnaissance au carottier battu (4 m de profondeur).

Les sondages ont mis en évidence des limons bruns remaniés avec quelques graviers sur environ 1.5 m d'épaisseur, puis des marnes argileuses gris-bleu, avec une alternance d'horizons de faible et moyenne compacité jusqu'en fond d'ouvrage. Il a été observé une diminution de compacité des terrains en fonction de la profondeur (entre 2 m et 6 m de profondeur). Les terrains apparaissent plus compacts vers 9 à 10 m.

On retiendra que dans ce secteur, les terrains sont plutôt de nature marno-argileuse et de faibles compacités sur les 6 à 8 premiers mètres.

#### **7.2.4 Etude AIS de réhabilitation de l'ancienne école Saint Joseph**

A la demande de la SCP FOREST DEBARRE et pour le compte de la commune de Saffré, la société AIS CENTRE ATLANTIQUE est intervenue fin 2011, dans le cadre d'une mission de reconnaissance de sol concernant le projet de réhabilitation de l'ancienne école privée Saint Joseph sujette à des désordres (avenue du Château, Saffré).

L'étude a comporté :

- 3 sondages à la tarière mécanique (5.60 m à 8 m de profondeur) ;
- 12 essais pressiométriques ;
- 2 fouilles de reconnaissance de fondation ;
- Des analyses en laboratoire sur les échantillons prélevés (teneurs en eau, valeurs au bleu).

Les sondages ont mis en évidence les terrains suivants :

- remblais limono-sableux (0.6 m à 1.2 m d'épaisseur) ;
- limons argileux (2 m à 2.7 m de profondeur) ;
- sables grossiers à liant argileux (2.3 m à 4.2 m de profondeur) ;
- argiles marneuses (2.8 m à 6.3 m de profondeur) ;
- complexe marno-calcaire reconnu jusqu'à 8 m de profondeur.

L'analyse en laboratoire des argiles prélevées sur site classe ces matériaux dans la catégorie des argiles de faible plasticité. Leur teneur en eau y est faible (<20%). Ils présentent une aptitude faible aux mouvements de retrait et négligeable au phénomène de gonflement sous la charge d'une fondation. Les mesures pressiométriques indiquent l'existence d'horizons peu consolidés au sein des terrains argileux surmontant les marno-calcaires.

L'étude géotechnique conclut que les désordres observés sur les constructions sont liés à l'assèchement des argiles sur lesquelles reposent les fondations. Il a été établi que les principaux facteurs aggravants sont la présence de végétation (phénomène de succion des racines) et l'assèchement régulier du ruisseau de l'Isac.

On remarquera que les désordres constatés ne sont donc pas attribués à des phénomènes de soutirage karstique. La présence d'horizons carbonatés associés à des marnes a été décelée à partir d'une profondeur maximale de l'ordre de 6 m. Ces résultats sont en accord avec les coupes géologiques des sondages PZ28 et Pz29 réalisés à proximité ([figures 35 et 36](#)).

### **7.2.5 Etude COULAIS concernant la maison de Mr et Mme TUDORET**

La société COULAIS CONSULTANTS est intervenue dans le cadre d'un diagnostic géotechnique d'une maison d'habitation sinistrée au 6, Petite Rue à Saffré.

Il a été réalisé :

- 12 sondages au pénétromètre dynamique descendus entre 7.7 m et 18.9 m de profondeur ;
- 2 sondages pressiométriques (20 m et 30 m de profondeur) ;
- 5 sondages destructifs de reconnaissance avec enregistrement des paramètres de forage (30 m de profondeur) ;
- 2 sondages au pénétromètre léger de type Panda ;
- 1 excavation manuelle de reconnaissance des fondations ;
- des analyses en laboratoire d'échantillons (teneur en eau, analyse granulométrique, valeur au bleu).

L'étude de sol met en évidence 3 principaux faciès :

- des remblais sablo-limoneux plus ou moins graveleux (0.9 à 2 m de profondeur) avec débris (brique, résidus de fonderie, etc.) ;
- des sables limono-graveleux (4.8 m à 7.4 m de profondeur) ;
- un calcaire marneux hétérogène avec alternance de bancs altérés, de bancs décomposés peu consolidés et de bancs fragmentés.

Les calcaires marneux observés et reconnus jusqu'à une profondeur de 30 m en quatre points ne présentent aucun vide significatif au regard des paramètres de foration enregistrés, mais les très faibles valeurs des paramètres mécaniques mesurées traduisent la présence de sols mous à lâches, alternant avec des niveaux plus résistants. Les analyses en laboratoire indiquent que les terrains argileux de surface sont peu sensibles au retrait gonflement.

L'étude a conclu que l'origine des désordres serait liée au marnage de l'Isac qui entraîne les éléments fins contenus dans les sables limono-graveleux, ce qui a pour effet de décomposer ces matériaux et à l'activation d'un fontis situé sous l'habitation ou à proximité (mais non reconnu par les investigations géotechniques), avec entrainement des fines et décompression des matériaux de surface.

Aucun indice probant de vide karstique n'est mis en évidence au droit des formations carbonatées recoupées par les sondages. Des pertes totales d'injection sont signalées à partir de 6,6 m de profondeur sur les deux sondages pressiométriques, soit au sommet des calcaires marneux.

### **7.2.6 Etude GEOTEC concernant le bureau de La POSTE**

A la demande et pour le compte de LA POSTE, la société GEOTEC est intervenue début 2012, dans le cadre d'une expertise du bureau de LA POSTE (6 rue de la Résistance, Saffré) présentant des désordres. GEOTEC avait pour mission d'analyser les terrains en place, d'émettre un avis géotechnique sur l'origine probable des désordres et d'indiquer une ou plusieurs solutions confortatives.

L'étude a comporté :

- un sondage de reconnaissance à la pelle mécanique des fondations (0.7 m de profondeur) ;
- un sondage pressiométrique (6.8 m de profondeur) ;
- deux essais au pénétromètre dynamique descendus à 2.6 m et 8 m de profondeur ;
- des analyses en laboratoire des échantillons prélevés.

Les reconnaissances ont mis en évidence les formations suivantes :

- du béton (5 à 20 cm d'épaisseur) ;
- un remblai à matrice sablo-argileuse (0.7 m à 2 m de profondeur) ;
- un sable reconnu entre 2 et 6.8 m de profondeur.

Le remblai sablo-argileux est très silteux, peu plastique et donc peu sujet au phénomène de retrait-gonflement. Il surmonte des sables qui paraissent peu consolidés.

Dans l'horizon sableux, un niveau d'eau a été mesuré à 3.7 m de profondeur. Ce sable vraisemblablement alluvial (alluvions de l'Isac ?) renferme une nappe d'eau qui serait en relation avec l'Isac.

Sur la base des différentes observations faites, l'étude établit que l'origine des désordres peut être expliquée par :

- la fluctuation d'une nappe libre, pouvant engendrer des décompressions des sols d'assise et par conséquent des tassements ;
- de fortes circulations d'eau dans les sols pouvant induire des affouillements par entraînement de fines engendrant la création de vides et par conséquent des tassements ;
- la présence soupçonnée de cavités souterraines profondes dans le secteur et leur déstabilisation par variation de la nappe captive notamment.

Les investigations conduites sur ce site n'ont pas reconnu d'horizons calcaires pouvant être le siège de phénomènes de dissolution et d'entraîner l'apparition de cavités karstiques. Leur présence ne reste pour le moment qu'une hypothèse parmi d'autres.

### **7.2.7 Etude FONDASOL concernant la maison de Mr et Mme JAUNASSE**

La société FONDASOL GEOTECHNIQUE s'est vue confiée par Monsieur et Madame JAUNASSE en janvier 2011, la réalisation d'un diagnostic concernant les désordres apparus sur leur maison, avenue du Mont Noël, à Saffré.

L'objectif principal de la mission étant de rechercher les causes des désordres affectant le bâti, les investigations suivantes ont été réalisées :

- un sondage destructif pour essais pressiométriques (18m de profondeur) ;
- 12 essais pressiométriques ;
- un sondage destructif avec enregistrement des paramètres de foration et équipement en piézomètre (18 m de profondeur) ;
- une reconnaissance des fondations ;
- des analyses en laboratoire d'échantillons prélevés.

Les sondages ont mis en évidence :

- des remblais de nature variée (0.9 m à 1.5 m de profondeur) ;
- des limons argileux ou argiles limoneuses (1.8 m à 2.4 m de profondeur) ;
- des calcaires marneux jusqu'à 18 m de profondeur.

Suite aux essais pressiométriques, il a été établi que les remblais et les limons argileux de surface étaient de compacité faible et que les calcaires marneux étaient de compacité moyenne à ponctuellement bonne.

Les différentes analyses effectuées sur l'échantillon prélevé au fond de la fouille de reconnaissance des fondations classent les argiles limoneuses dans la catégorie des argiles gonflantes. Selon les différentes classifications, le risque de phénomènes de retrait-gonflement est qualifié de moyen à élevé.

L'origine des désordres est ici attribuée à des phénomènes de retrait-gonflement des argiles sur lesquelles les fondations du bâti reposent. Elle n'est donc pas liée à des phénomènes d'origine karstique. Les terrains carbonatés reconnus jusqu'à 18 m de profondeur correspondent aux formations marneuses caractéristiques du centre du bassin de Saffré et constituant le sommet de la série sédimentaire oligocène. Ces terrains marneux comportent une fraction argileuse non négligeable qui fait qu'ils ne peuvent être pas le siège du développement de cavités karstiques. La présence en quantité importante d'éléments argileux insolubles s'oppose en effet au développement de la karstification.

#### **7.2.8 Etude FUGRO concernant la maison de Mr TOKOTO (SCI SAHEPAMI)**

La société FUGRO GEOTECHNIQUE a été chargée en février 2009 par Monsieur TOKOTO, représentant la SCI SAHEPAMI, d'effectuer un diagnostic géotechnique sur deux parcelles bâties au 20, rue du Château à Saffré.

L'objectif principal de la mission étant de préciser les caractéristiques du sous-sol, dans la perspective d'une rénovation de bâtiment existant. Les investigations menées ont consisté en la réalisation de 7 essais de pénétration statique menés jusqu'au refus (1.2 à 6.2 m), implantés autour du bâtiment. Aucune reconnaissance des terrains en place par sondage destructif n'a été réalisée.

Ces essais ont mis en évidence :

- des terrains de surface argilo-silteux surconsolidés sur 1 m d'épaisseur en moyenne ;
- une alternance de niveaux argilo-silteux surconsolidés et de niveaux plus compacts attribués à des sables carbonatés (?). Dans cet ensemble, des passages nettement moins consolidés sont aussi mis en évidence au droit de la zone de battement de la nappe de l'Isac ;
- les zones de refus rencontrées à des profondeurs variables sont attribuées à des niveaux marneux ou marno-calcaires.

L'étude conclut au fait qu'aucun des sondages n'a décelé la présence de matériaux sous consolidés pouvant indiquer la présence de matériaux décomprimés par une cavité naturelle sous jacente. Aucun indice traduisant l'existence de mouvements de terrain n'a été décelé au droit du site.

### **7.2.9 Etude KORNOG concernant la maison de Mr ANGIBAUD et Mme DIOCHIN**

KORNOG Géotechnique est intervenu en juin 2010 sur le lot n°16 du lotissement du Clos du Rocher, pour définir les systèmes de fondation et de dallage envisageables pour le projet d'une maison particulière. A cette fin, un sondage destructif de 16.5 m de profondeur et un sondage pressiométrique de 12.2 m ont été réalisés sur la parcelle à lotir.

Les caractéristiques du sous-sol rencontrées sont les suivantes :

- des limons argilo-sableux à petits nodules de quartz sur une épaisseur de 3.0 à 3.8 m ;
- des limons argileux à cailloutis quartzeux sur une épaisseur d'environ 3 m. Cet ensemble apparaît peu consolidé ;
- des marnes argileuses bleutées à blanchâtres jusque vers 9 m de profondeur ;
- des marno-calcaires soit bleu-verdâtre, soit jaune-blanchâtre plus en profondeur.

Aucun indice de vide karstique n'a été décelé sur ce site où le sous-sol est constitué en profondeur par des marno-calcaires. Le rapport insiste cependant sur le risque moyen de sensibilité au retrait-gonflement évalué par le BRGM en ce qui concerne les limons argileux présents en surface. Toutefois aucun test de sensibilité au retrait-gonflement n'a été réalisé sur les échantillons de limon prélevés dans le cadre de cette étude.

### **7.1.10 Etude ABROTEC OUEST concernant la maison de Mr et Mme BARREAU**

ABROTEC OUEST a réalisé en 2008 une étude géotechnique sur une parcelle dans le village de la Filée pour définir les types de fondation et de dallage envisageables sur la future maison des époux BARREAU. Les investigations ont consisté en la réalisation de deux sondages destructifs et d'un sondage pressiométrique sur la parcelle.

Les caractéristiques des terrains rencontrés sont les suivantes :

- des argiles à silex et des argiles marneuses rencontrées sous les formations superficielles de recouvrement jusqu'à une profondeur de 2.1 à 2.2 m ;
- des calcaires marneux blanchâtres jusque vers 4 m de profondeur ;
- des argiles marneuses décomprimées sur 1 à 2 m d'épaisseur ;
- des calcaires marneux jaunâtres plus en profondeur.

Aucun indice de vide karstique n'a été reconnu, mais l'entreprise souligne un risque de retrait-gonflement possible au sein des argiles rencontrées jusqu'à 2 m de profondeur. Toutefois cette hypothèse avancée n'a pas été vérifiée par des mesures faites sur les échantillons prélevés dans ces terrains argileux.

### 7.3 - SYNTHÈSE DE L'ENSEMBLE DES NOUVELLES DONNÉES

L'analyse des différentes études géotechniques et les données des nouveaux piézomètres permettent d'appréhender un peu plus précisément la nature des terrains dans le bourg de Saffré et ses environs. Les investigations géophysiques étant très limitées dans un environnement urbain, l'examen de ces expertises et diagnostics géotechniques était important.

Ces études ont donc confirmé la présence de certaines failles :

- la faille **F2** localisée au Sud-Ouest (SIMECSOL), passant à proximité de l'actuelle usine de traitement des eaux et du lieu-dit la Chutenaie ;
- le couloir de failles **F3** orienté NNE-SSW, localisée à l'Est du bassin et passant dans le bourg de Saffré (BONNIER FORAGES, CEBTP) ;
- la faille **F4** orientée NW-SE, localisée au Nord et traversant le bourg de Saffré à proximité du gymnase (BONNIER FORAGES).

La faille **F2** sépare des terrains calcaires potentiellement karstifiés à l'Ouest des marnes argileuses présentes à l'Est traversées par les captages AEP sur plus de 30 m et reconnues également sur les sondages géotechniques du Clos du Rocher (KORNOG) et du bourg (FONDASOL), ainsi que sur le piézomètre Pz 27.

Ces marnes peuvent présenter par endroit et à faible profondeur, des déficits de masse qui ont été révélés par des anomalies en microgravimétrie (SIMECSOL). Ces anomalies sont dues à des défauts de compacités des terrains argilo-marneux superficiels, confirmés par des mesures pressiométriques. Compte tenu de l'importante épaisseur de terrains marneux surmontant les calcaires marins aquifères, il paraît donc improbable que les effondrements soient liés à des soutirages karstiques. Aucun indice de vide karstique n'a d'ailleurs été reconnu sur les forages géotechniques effectués dans ce contexte géologique.

Les différents sondages effectués au niveau du bourg de Saffré précisent la localisation d'une des failles **F3** bordant par l'Ouest le couloir surélevé. Celle-ci met en contact à l'Ouest, des marnes argileuses caractéristiques du centre du bassin, avec à l'Est des marno-calcaires altérés dans leur partie sommitale puis des calcaires marins aquifères rencontrés à partir de 10 à 12 m de profondeur. Dans ce couloir, on rencontre aussi entre 2.5 et 7 m de profondeur, des argiles brunes à graviers qui apparaissent fréquemment peu consolidées et qui expliqueraient les anomalies gravimétriques reconnues en géophysique (CEBTP). Encore plus à l'Est, les sondages géotechniques recoupent dès la subsurface, des argiles bleutées (CEBTP). Ces dernières sont représentatives de l'épaisse formation argilo-marneuses qui a été reconnue en dessous des calcaires aquifères et que l'on connaît à l'affleurement plus au Sud dans le secteur du château et de l'Apsigais. Cet ensemble est donc bien limité vers l'Ouest par la seconde faille **F3**, qui est bien visible en géophysique sur les cartes de résistivité.

Les calcaires présents au niveau du bourg, au milieu de ce couloir de faille, paraissent, au regard des cuttings remontés en cours de foration, présenter un faciès différent des calcaires observés en fond de fouille au Sud d'Augrain. Ils semblent aussi particulièrement fracturés, avec des fissures partiellement colmatées par des matériaux terrigènes.

Pas moins de six études géotechniques ont concerné ce couloir faillé. Aucune n'a mis en évidence d'indices susceptibles de traduire la présence de cavités karstiques en profondeur, bien que plusieurs effondrements aient été signalés dans ce secteur.

Les études menées par ARCADIS, GEOTEC, AIS, FUGRO ou COULAIS invoquent d'ailleurs d'autres phénomènes pour expliquer l'origine de désordres affectant les bâtiments : assèchement des horizons argileux superficiels ou tassement résultant de l'entraînement d'éléments fins causés par des variations de niveau de la nappe d'eau en lien avec le marnage de l'Isac.

L'étude menée dans la partie ouest du bourg de Saffré (FONDASOL) a mis en évidence des terrains marneux dès la proche surface. Les désordres observés sur les habitations ont été attribués sans aucune ambiguïté à des phénomènes de retrait-gonflement d'argiles et non à un phénomène de soutirage karstique.

Dans le village de la Filée, des terrains argileux sur une épaisseur d'au moins 2 m surmontent des calcaires marneux blanchâtres. Là encore, bien que des effondrements soient signalés dans le voisinage, aucun indice de vide karstique significatif n'a été décelé.

Finalement il faut retenir, au terme de cette analyse des caractéristiques géotechniques du sous-sol de Saffré, les éléments suivants :

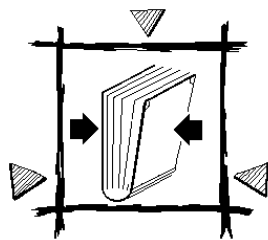
- aucun vide karstique d'ampleur notable n'a été mis en évidence par les sondages ;
- aucun indice flagrant de soutirage karstique n'a été reconnu par ces études ;
- l'existence à proximité de la surface de formations argileuses ou marneuses peu consolidées, tout particulièrement dans le couloir faillé s'étendant au Sud du centre bourg ;
- la présence en surface d'argiles sensibles au retrait-gonflement, notamment au sein des formations argilo-marneuses surmontant l'aquifère calcaire.

Ainsi nous retiendrons que dans le bourg de Saffré, les études géotechniques mettent en évidence plusieurs causes qui peuvent être à l'origine de désordres affectant les habitations : soutirage karstique (évoqué mais non démontré), phénomènes de retrait-gonflement d'argiles (démonstrés par des essais en laboratoire), présence à proximité de la surface de terrains argileux ou marneux peu consolidés (prouvés par les essais pressiométriques), entraînement de fines du fait des variations de niveau d'eau dans un aquifère sableux en lien avec l'Isac (supposé mais non démontré).

*Remarque : les coupes géologiques de sondage disponibles dans les études géotechniques restent le plus fréquemment des coupes sommaires qui reposent sur une analyse rapide du type de terrain rencontré, se limitant à une description de l'aspect visuel, mais ne cherchant pas à caractériser des faciès sédimentaires. Une approche plus fine nécessiterait en effet un lavage et un tamisage préalable des déblais de forage, suivi de leur examen à la loupe binoculaire.*

*Il en résulte que toutes les formations carbonatées reconnues en profondeur sont toujours décrites comme étant des marno-calcaires. La seule distinction faite entre les différents horizons marno-calcaires recoupés étant leur couleur.*





## 8 - SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET RISQUES KARSTIQUES

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.

La géologie du bassin de Saffré est vraisemblablement très complexe et mériterait de faire encore l'objet d'investigations 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 (**figure 38**) ;
- d'une seconde coupe orientée NW-SE passant par Augrain, le Rocher et le Château de Saffré (**figure 39**).

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 (**figure 40**), 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.

De l'analyse de ces documents, il ressort que le calcaire contenant l'aquifère 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 des failles **F3** et **F4**. 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, les 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 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 reconnue 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, les niveaux marno-calcaires reposent directement sur les argiles que l'on retrouve normalement en dessous les 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 pompes 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.

### **Observations importantes Conditions de validité de l'étude**

1 - Le présent rapport et ses annexes (planches, plans hors-texte, etc.) constituent un tout indissociable. Les interprétations erronées qui pourront en être faites à partir d'une communication ou d'une reproduction partielle ne sauraient engager la Société Calligée.

2 - Toute modification du projet initial concernant la conception, l'implantation, le niveau ou la taille de l'ouvrage devra nous être signalée. En effet, ces modifications peuvent être de nature à rendre caduque certains éléments ou la totalité des conclusions de notre étude.

3 - Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire des hypothèses sur le projet, il appartient à notre Client ou à son Maître d'œuvre, de nous communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

4 - Compte tenu des limites inhérentes à toute méthode d'investigation géophysique, des éléments nouveaux mis en évidence lors d'une reconnaissance complémentaire ou lors de l'exécution des fouilles ou des fondations, et n'ayant pas pu être détectés au cours des opérations de reconnaissance (par exemple failles, remblais récents ou anciens, cavernes de diverses origines, hétérogénéité localisée, venue d'eau, etc.) peuvent rendre caduque tout ou partie des conclusions du rapport.

Ces éléments nouveaux, ainsi que tout incident important survenant au cours des travaux doivent être immédiatement signalés à Calligée pour lui permettre de reconsidérer et d'adapter éventuellement les solutions initialement proposées.

5 - Pour les raisons développées au § 4, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer un coût autre qu'estimatif de tout ou partie des ouvrages ou infrastructures ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

6 - Nous ne pouvons être rendus responsables des modifications apportées à notre étude sans notre consentement écrit.



#### CALLIGEE

Site Atlanpole - Ecole Centrale

1 rue de la Noë - B.P. 82118

44321 NANTES CEDEX 3

Tél. : (33) 02 40 14 33 71

Fax : (33) 02 40 14 33 72

E.mail : nantes@calligee.fr

#### CALLIGEE SUD OUEST

Labège Innopole

Le Prologue 2 - B.P. 2714

31312 LABEGE CEDEX

Tél. : (33) 05 62 24 36 97

Fax : (33) 05 61 39 07 28

E.mail : toulouse@calligee.fr

#### CALLIGEE SUR LE WEB

[www.calligee.fr](http://www.calligee.fr)

