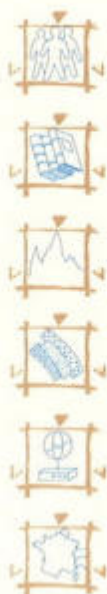


S.I.A.E.P. DE NORT-SUR-ERDRE

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

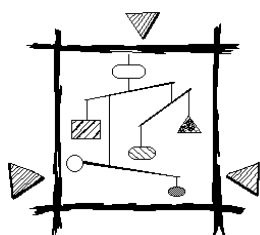
RAPPORT CALLIGEE N11-44084-B
SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE



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

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

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

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

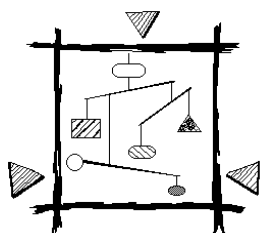


TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

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

Figure 23 :	Evolution des niveaux piézométriques sur les piézomètres PZAEP, Pz2 et Pz6 au cours de l'essai de pompage d'octobre 2011 sur les captages de Saffré	44
Figure 24 :	Evolution du cône théorique de rabattement induit par les captages de Saffré dans deux configurations de pompage : essai de pompage d'octobre 2011 et pompages journaliers	46
Figure 25 :	Evolution du cône théorique de rabattement induit par les captages de Saffré dans deux configurations de pompage : essai de pompage d'octobre 2011 et pompages journaliers	47
Figure 26 :	Principales zones de perte et d'émergence mises en évidence par les campagnes de jaugeages effectuées sur les cours d'eau recoupant le bassin de Saffré	52
Figure 27 :	Exemple de zone d'émergence temporaire dans le lit de l'Isac.....	53
Figure 28 :	Profils en long des cours d'eau traversant de bassin de Saffré et localisation des zones de pertes et d'émergence mise en évidence par les jaugeages.....	54
Figure 29 :	Localisation des points de suivi	56
Figure 30 :	Evolution des niveaux piézométriques en Pz2 et Pz6.....	58
Figure 31 :	Evolution des niveaux d'eau entre Pz2 et l'Isac (Pz2bis)	59
Figure 32 :	Evolution des niveaux d'eau entre Pz6 et le Pas-Sicard (Pz6bis)	60
Figure 33 :	Comparaison des niveaux du Pas-Sicard et de la nappe à Augrain.....	62
Figure 34 :	Comparaison des niveaux de l'Isac et de la nappe à la Chutenaie	62
Figure 35 :	Points de suivi au moment du pompage d'essai d'octobre 2011	63
Figure 36 :	Comparaison des niveaux Pz23 avec d'autres piézomètres influencés par les pompages AEP.....	64
Figure 37 :	Evolution des niveaux d'eau en Pz7, Pz15, Pz27, Pz28, Pz29, Pz30 et P17	65
Figure 38 :	Evolution des niveaux d'eau en Pz9, Pz10, Pz16, Pz28, Pz29 et Pz30	66
Figure 39 :	Evolution des niveaux d'eau en Pz9, Pz10, Pz16, Pz28, Pz29 et Pz30	67
Figure 40 :	Evolution des niveaux d'eau en Pz9, PZ2, PZ28, Pz29 et Pz30	68
Figure 41 :	Evolution comparative des niveaux d'eau de la nappe des calcaires aux environs de la Chutenaie	69
Figure 42 :	Evolution comparative des niveaux d'eau entre la nappe des calcaires et les ouvrages de chez Mr Jaunasse	70
Figure 43 :	Evolution comparative des niveaux d'eau dans le secteur d'Augrain	71
Figure 44 :	Evolution comparative des niveaux d'eau en partie amont du Pas Sicard.....	72
Figure 45 :	Evolution comparative des niveaux d'eau dans le centre bourg de Saffré	74
Figure 46 :	Evolution de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de l'eau brute des captages AEP de Saffré entre septembre 2011 et juin 2012 (Données SAUR).....	77
Figure 47 :	Courbe de distribution de fréquence de la conductivité de l'eau brute pompée sur les captages AEP de Saffré	78
Figure 48 :	Evolution des teneurs en Sélénium sur les captages AEP de Saffré (Données SIAEP)	79
Figure 49 :	Evolution du niveau piézométrique sur Pz2 au cours de l'été 2012	84
Figure 50 :	Localisation des effondrements recensés comme tels à Saffré.....	86
Figure 51 :	Carte de zonage du risque karstique d'effondrement sur le bassin de Saffré	91

LISTE DES TABLEAUX

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

ANNEXES

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

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

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

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

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

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

**PRECISION DES LIMITES DE ZONES A RISQUE FORT VIS-
A-VIS DES EFFONDEMENTS D'ORIGINE KARSTIQUE**

AQUIFERE OLIGOCENE DU BASSIN DE SAFFRE

SAFFRE (LOIRE-ATLANTIQUE)

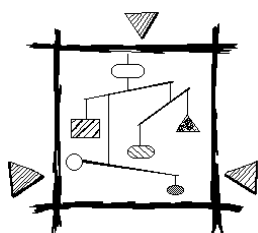
RAPPORT FINAL CALLIGEE N13-44098-C



N° rév	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Approbation	Visa	Date
1	Paul Henri MONDAIN		Paul Henri MONDAIN				Mars 2014

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
Innople
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

SOMMAIRE	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS	3
1 - INTRODUCTION.....	4
2 - RESULTATS DES RECONNAISSANCES	6
2.1 - LOCALISATION DES SECTEURS A ETUDIER	6
2.2 - PRECISIONS APORTEES PAR LA GEOPHYSIQUE	7
2.2.1 - Nature des investigations réalisées	7
2.2.2 - Principaux résultats obtenus.....	7
2.3 - PRECISIONS APORTEES PAR LES SONDAGES DE RECONNAISSANCE	13
2.3.1 - Nature des investigations réalisées	13
2.3.2 - Principaux résultats obtenus avec les sondages destructifs.....	14
2.3.3 - Principaux résultats obtenus avec les sondages carottés	17
3 - CARTE DES RISQUES D'EFFONDREMENT	20
3.1 - RAPPEL DES CRITERES RETENUS.....	20
3.2 - REVISION LOCALE DE LA CARTE DES RISQUES.....	22
3.2.1 - Révisions locales à l'Ouest et au Sud du bourg de Saffré	22
3.2.2 - Révisions locales au droit du bourg de Saffré.....	25
4 - CONCLUSION	30

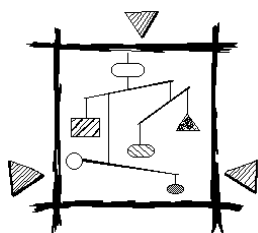


TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des secteurs retenus pour les investigations complémentaires	6
Figure 2 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur d’Augrain Nord8	
Figure 3 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur d’Augrain Sud 8	
Figure 4 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur des Ormes	9
Figure 5 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur des Perrières .	9
Figure 6 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur du Château ..	10
Figure 7 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur sud du bourg	11
Figure 8 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteur de la Minoterie	11
Figure 9 : Implantation des profils géophysiques et des sondages – Secteurs du bourg et de la Minoterie.....	12
Figure 10 : Limite de la zone à risque fort dans le secteur des Ormes (ligne orange)	22
Figure 11 : Limite de la zone à risque fort au Nord du village d’Augrain (ligne orange)	23
Figure 12 : Limite de la zone à risque fort au Sud du village d’Augrain (ligne orange)	23
Figure 13 : Limite de la zone à risque fort aux Perrières (ligne orange)	24
Figure 14 : Zonage du risque d’effondrement karstique dans le bourg de Saffré	26
Figure 15 : Carte de zonage du risque karstique d’effondrement à Saffré	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Caractéristiques des sondages réalisés en 2013 (données Abrotec)	14
Tableau 2 :	Synthèse de coupes géologiques des sondages destructifs	16
Tableau 3 :	Grille d’évaluation du risque d’effondrement karstique à Saffré.....	21

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats de l’examen à la loupe binoculaire de certains échantillons tamisés et photos de la microfaune observée

Annexe 2 : Coupes géologiques des sondages carottés réalisés dans le bourg de Saffré