Document public

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

Connaissances des karsts aquitains - Étude des karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne

- Module 4 - Année 5 -
Convention 2008-2013

Rapport final

BRGM/RP-64800-FR
Mars 2016

Préfecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
AQUITAINE

Dordogne le DÉPARTEMENT www.dordogne.fr

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

RÉGION AQUITAINE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

Connaissances des karsts aquitains - Étude des karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne

- Module 4 - Année 5 -
Convention 2008-2013

Rapport final

BRGM/RP-64800-FR
Mars 2016

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM PSP13AQI20

T. Gutierrez, O. Cabaret, J. Perrin
Avec la collaboration de
A. Stöckle

Préfecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : V. BAILLY-COMTE	Nom : N. PEDRON
Fonction : Hydrogéologue D3E/NRE	Fonction : Directeur régional BRGM ALPC
Date : 24/07/2015	Date : 26/01/2016

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
AQUITAINE

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Dordogne le DÉPARTEMENT www.dordogne.fr
AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE
RÉGION AQUITAINE
Géosciences pour une Terre durable brgm

Mots-clés : Nappe, Aquifère, source, débit, karst, bassin d'alimentation, jaugeage, structurale, tectonique, faille, pli, haut fond, horst, molasse, calcaire, paléogéographie, SIG, altération, sédimentologie, calcaire, dolomie, Crétacé, Jurassique, Trias, Eocène, Paléocène, Oligocène, Miocène, Dordogne, Charentes, Lot, Quercy, Périgord, Lot-et-Garonne

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

Gutierrez T., Cabaret O., Perrin J. avec la collaboration de Stöckle A. (2016) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Connaissances des karsts aquitains - Étude des karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne. Module 4 - Année 5 – Convention 2008-2013. Rapport final BRGM/RP-64800-FR, 53 p., 31 ill., 4 ann.

© BRGM, 2016, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

En Dordogne, les terrains carbonatés du Jurassique et du Crétacé répondent largement aux besoins pour l'alimentation en eau potable. Toutefois, la nature plus ou moins karstique des aquifères rend difficile la gestion des ressources en eau. Les gestionnaires sont en effet confrontés à la variabilité des débits et de la qualité des eaux, aux difficultés de protection liées notamment à l'identification des bassins d'alimentation et à la vulnérabilité vis-à-vis de pollutions.

Le travail présenté dans ce rapport est réalisé dans le cadre de l'année 5 du module 4 de la convention régionale « Gestion des Eaux souterraines en région Aquitaine » pour la période 2008-2013 concernant la connaissance générale des karsts aquitains. Il a pour objectif d'étudier plus spécifiquement les karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne.

Cette étude est financée par le Conseil Régional Aquitaine, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, le BRGM, et le Département de la Dordogne.

L'objectif du projet est double. Il doit d'une part, répondre aux besoins de connaissances sur le fonctionnement général des aquifères carbonatés de Dordogne et d'autre part, mettre en place une méthodologie d'étude des systèmes karstiques qui puisse être transposable à d'autres aquifères carbonatés du Bassin aquitain et appropriable par les acteurs locaux. Pour cela, le projet s'articule autour de deux volets complémentaires. Le premier concerne l'histoire géologique et structurale de Dordogne qui permettra *in fine* d'identifier les périodes favorables à la karstification des réservoirs du Secondaire. Le second volet traite des aspects hydrogéologiques visant à comprendre le fonctionnement des systèmes karstiques.

Le rapport présente les avancées réalisées dans le travail de récupération et de capitalisation des données. Le **volet géologique**, en appui du projet OKaNA (Husson, 2015), relate les périodes potentielles de karstification des formations carbonatées du nord du Bassin aquitain. En plus d'émersions localisées favorables à des karstifications de faible intensité, trois périodes majeures semblent pouvoir favoriser une karstification régionale :

- Le Crétacé inférieur,
- Le Paléogène,
- Du Miocène à l'actuel.

En complément, l'impact de la tectonique dans la modification du niveau de base et le rôle de structures particulières telles que la position des récifs dans les écoulements souterrains sont abordés. Ce travail devra faire l'objet d'investigations complémentaires mais permettra toutefois d'orienter les réflexions futures sur l'organisation et le fonctionnement des aquifères karstiques.

Le **volet hydrogéologique** a permis au cours de cette troisième année de travail de réaliser un inventaire des sources incluant leur localisation et leurs caractéristiques de débit et de physico-chimie. L'inventaire réalisé, primordial pour la compréhension des réservoirs carbonatés, pose les bases de travaux d'acquisition futurs qui permettront de poursuivre les pistes de réflexion évoquées.

Une approche de cartographie des typologies du karst affleurant pour décrire les modalités d'infiltration par croisement des informations géologiques et hydrogéologiques a été explorée. Mise en œuvre sur deux bassins d'alimentation, elle doit encore être validée. Les premiers résultats permettent dès à présent d'apporter des informations utiles sur les questions de vulnérabilité des captages et sur le degré de fonctionnalité des systèmes.

Sommaire

1. Introduction 9

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET 9

1.2. RAPPEL DES TRAVAUX DES 2 PREMIERES ANNEES DE L'ETUDE 11

1.3. PROGRAMME DE L'ANNEE 3 12

2. Formations géologiques et paléogéographie 13

2.1. CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE 13

2.2. SYNTHESE DES FORMATIONS ET DE LEUR EVOLUTION LATERALE 13

2.3. ÉLABORATION DE CARTES PALEOGEOGRAPHIQUES : EXEMPLE DE LA PERIODE CRETACE INFERIEUR 13

2.4. HISTOIRE GEOLOGIQUE DU BASSIN AQUITAIN 17

3. Interactions entre structure, sédimentologie et hydrogéologie 19

3.1. AJOUT ET HOMOGENEISATION DES STRUCTURES TECTONIQUES 19

3.2. ROLE DE LA TECTONIQUE : GENERALITES 24

3.3. EXEMPLE DE CONTROLE SEDIMENTAIRE : LES RECIFS JURASSIQUES 28

3.3.1. Contexte général de la plate-forme dans le sud de la France au Jurassique 28

3.3.2. Situation des récifs du Périgord et des Charentes au Jurassique 29

3.3.3. Implications hydrogéologiques : exemple de La Touvre 30

4. Consolidation des données sur les sources 31

4.1. INVENTAIRE DES SOURCES 31

4.2. ACQUISITION DE DONNEES DE DEBITS 33

4.2.1. Inventaire historique et mesures de terrain 33

4.2.2. Chroniques continues de débits 34

4.3. ACQUISITION DE DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES 38

4.3.1. Mesures de terrain 38

4.3.2. Poursuite des interprétations physico-chimiques 39

4.4. SYNTHESE ET CONCLUSION 40

5. Typologies du karst affleurant, en lien avec les modalités d'infiltration et la vulnérabilité des bassins d'alimentation 41

5.1. METHODOLOGIE 41

5.2. BASSIN D'ALIMENTATION DE LA SOURCE DE LA GLANE 43

5.3. BASSIN D'ALIMENTATION DE LA SOURCE DE FONGAUFFIER 45

5.4. DISCUSSION 47

5.5. PERSPECTIVES 48

6. Conclusion 49

7. Bibliographie 51

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte géologique schématique de la Dordogne (Cabaret et al., 2012) 10

Illustration 2 : Tableau synthétique des travaux réalisés au cours des 2 premières années du module (RP-62902-FR) 12

Illustration 3 : Carte paléogéographique de la base du Crétacé inf. (Néocomien) modifiée de l'atlas géologique du Bassin aquitain de 1974.....15

Illustration 4 : Charte chronostratigraphique de la bordure nord-aquitaine représentant schématiquement les périodes de sédimentation, d'altération/karstification et les épisodes géodynamiques (Husson, 2015). NB=niveau de base 18

Illustration 5 : Légende et figurés proposés pour les couches de failles et de plis 19

Illustration 6 : Etat initial du SIG des failles nord-aquitaines en 2012 (failles présentes sur les cartes géologiques au 1/50 000) 20

Illustration 7 : Aperçu du SIG des failles nord-aquitaines en 2014 avec les apports de l'année 3 20

Illustration 8 : Etat initial du SIG des plis nord-aquitains en 2012 (structures présentes sur les cartes géologiques au 1/50 000) 21

Illustration 9 : Aperçu du SIG des plis nord-aquitains en 2014 avec les apports de l'année 3 21

Illustration 10 (sur 2 pages) : Eléments structuraux linéaires et leur codage dans la table attributaire étendue à toute la région Aquitaine pour la constitution ultérieure de la synthèse structurale régionale. Les codes pour les failles sont organisés sous forme de matrice. .23

Illustration 11 : Rôle des différents mécanismes de contrôle des bassins et implications sur le niveau de base, les dépôts et les échanges entre aquifères 25

Illustration 12 : Lien entre niveau de base général et contexte géodynamique 27

Illustration 13 : Le haut-fond occitan (d'après Delfaut et al., 1980).....28

Illustration 14 : Séries du Jurassique nord-aquitain. Les formations ont été redéfinies ultérieurement mais ce document montre la position des récifs de polypiers et de faciès granulaires (oolithes, oncolithes) (d'après Delfaut et al.,1980) 29

Illustration 15 : Fonctionnement synthétique du réseau de La Touvre (Charentes) et le lien entre les écoulements karstiques et les variations de faciès (Hantzpergue, Mudry et Rouiller, 1988).....30

Illustration 16 : Nombre et répartition des sources inventoriées au 25 août 2014 en fonction de l'origine de l'information (Stöckle, 2014) 31

Illustration 17 : Carte de répartition des sources de Dordogne au 25 août 2014 en fonction de l'origine de l'information. Communes n'ayant pas encore répondu à l'enquête (modifié de Stöckle, 2014) 32

Illustration 18 : Nombre et répartition des sources inventoriées au 25 août 2014 en fonction de la formation aquifère (Stöckle, 2014).....32

Illustration 19 : Carte de répartition des jaugeages recensés sur Infoterre (ronds verts) et des jaugeages effectués entre mai et juin 2014 (ronds rouges), en fonction du débit mesuré (Stöckle, 2014).....34

Illustration 20 : Emplacement de la station de jaugeage de la source du Toulon - Chronique piézométrique (enregistreur BRGM) et positionnement des jaugeages réalisés par la DREAL. Les variations importantes de piézométrie sont liées aux pompages (enregistrements horaires).....35

Illustration 21 : Station de la Glane (A - 17/10/2013 ; B - capteur dans le bâtiment ; C - 24/02/2015 ; D - échelle limnimétrique).....36

Illustration 22 : Chronique piézométrique de la source de la Glane (enregistreur BRGM) et positionnement des jaugeages réalisés par la DREAL. Chronique peu influencée par les pompages car seules les mesures enregistrées à minuit sont reportées 36

Illustration 23 : Déversoirs de la source des Moulineaux – Chronique piézométrique (enregistreur BRGM) et positionnement des jaugeages réalisés par la DREAL. Chronique peu influencée par les pompages car seules les mesures enregistrées à minuit sont reportées 37

Illustration 24 : Nombre de sources prélevées en fonction du nombre de mesures connues (Stöckle, 2014) 38

Illustration 25 : Carte de répartition des prélèvements (Stöckle, 2014) 39

Illustration 26 : Cartes de répartition de la Pco_{2_sat} médiane et de la température médiane du réservoir du Bathonien-Callovo-Oxfordien 40

Illustration 27 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des bassins d'alimentation des sources analysées 43

Illustration 28 : Carte des typologies de karst pour le bassin d'alimentation (PPE) de la source de la Glâne 44

Illustration 29 : Carte des typologies de karst pour le bassin d'alimentation (PPE) de la source de Fongauffier 46

Illustration 30 : Evolution des concentrations en nitrates pour les deux sources étudiées 48

Illustration 31 : Tableau synthétique des travaux réalisés au cours des 2 premières années du module 49

Liste des annexes

Annexe 1 Synthèse des formations de la couverture paléogène nord-aquitaine 55

Annexe 2 Synthèse des formations mésozoiques nord-aquitaines 57

Annexe 3 Tableau des 24 sources jaugées entre mai et juin 2014 59

Annexe 4 Résultats des mesures et prélèvements effectués entre mai et juin 2014 67

1. Introduction

Dans le cadre de la convention régionale « Gestion des Eaux souterraines en région Aquitaine » signée entre le BRGM, la Région Aquitaine et l'Etat pour la période 2008-2013 avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, de l'Europe (fonds FEDER) et des Conseils Départementaux de la Gironde, de la Dordogne et du Lot-et-Garonne, le BRGM a entrepris des actions de recherche et de mise en valeur des ressources en eaux souterraines. Sur la période 2013-2014 (année 5 de la convention), le module 4 concerne l'amélioration des connaissances sur les karsts aquitains. Le Département de Dordogne s'est positionné afin que soient menés des travaux sur les karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne. Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre des actions de Service Public du BRGM, a été cofinancée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, le BRGM , le Conseil Régional et le Département de la Dordogne.

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

La Dordogne se situe sur la bordure Nord du Bassin aquitain et quatre grandes zones géologiques sont identifiées à l'affleurement (Illustration 1) :

- le SW du département (Eymet, Bergerac et Mussidan) est composé essentiellement de molasses tertiaires : sables et argiles à intercalations de niveaux de calcaires lacustres (figuré jaune et orange) ;
- la région centrale du département (Sarlat, Périgueux, Brantome, Ribérac) est composée principalement par la série carbonatée du Crétacé supérieur ;
- une bande au NE du département (Nontron, Thiviers, Terrasson) et un petit secteur au Sud de Domme sont composés de carbonates jurassiques ;
- la bordure septentrionale (au Nord de Thiviers et Terrasson) est constituée par le Permo-Trias et le socle paléozoïque.

L'ensemble sédimentaire est constitué d'un épais bloc carbonaté de Jurassique et de Crétacé supérieur, séparé par quelques niveaux argileux d'épaisseurs généralement faibles. Il en résulte ainsi un ensemble aquifère multicouche séparé par plusieurs épontes. Cette série est affectée de failles dont les rejets, même modestes (de l'ordre de 30 à 40 m), peuvent mettre en contact différents aquifères. Hydrogéologiquement, ces réservoirs présentent des caractéristiques communes :

- Du point de vue piézométrique, il a été mis en évidence que les aquifères du Secondaire en Dordogne montrent une stabilité interannuelle des niveaux et des variations saisonnières cycliques de la piézométrie sur la plupart des ouvrages. En effet, la proximité des affleurements induit une forte sensibilité des nappes vis-à-vis de la recharge (Platel et al., 2010) ;

- Du point de vue qualitatif, les eaux circulant au sein des formations du Crétacé montrent un faciès chimique bicarbonaté calcique. Leur chimisme ne semble *a priori* pas dépendant de leur position géographique ni de l'aquifère capté (Turonien, Coniacien ou Santonien) ni de la profondeur des forages. Les eaux du Jurassique sont également bicarbonatées calciques mais plus l'aquifère s'approfondit (vers le Lot-et-Garonne), plus la teneur en sulfates augmente. Globalement, la répartition des faciès chimiques des eaux semble suivre une évolution qui correspond au sens d'écoulement des eaux (Platel et al., 2008) ;

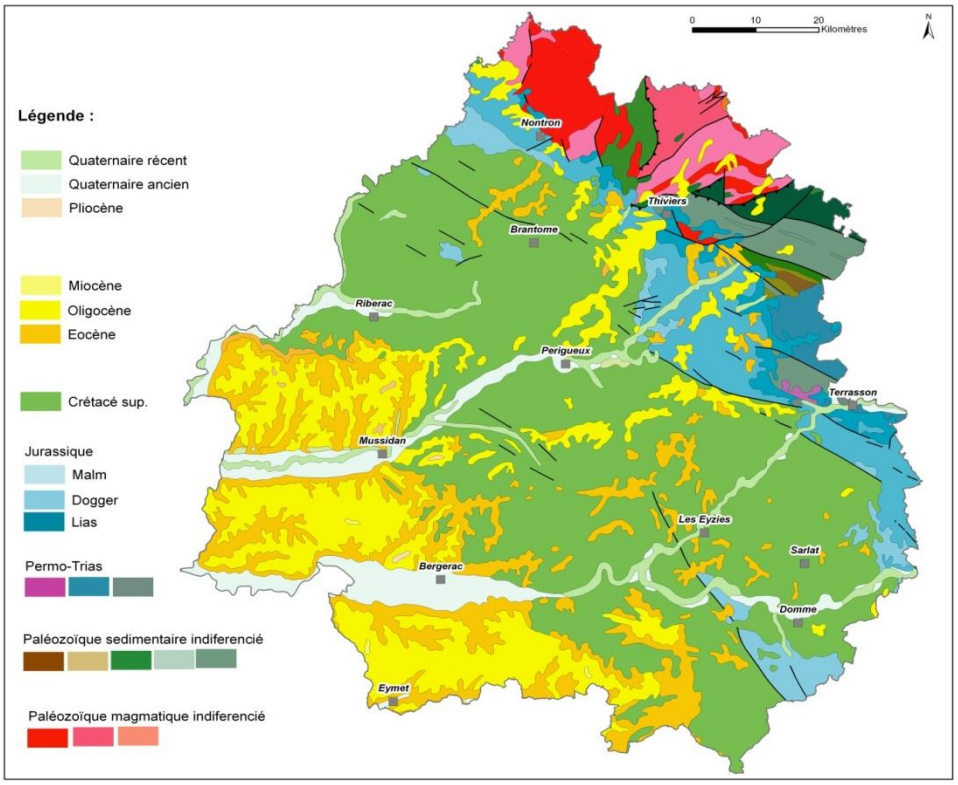


Illustration 1 : Carte géologique schématique de la Dordogne (Cabaret et al., 2012)

- Ponctuellement, certains ouvrages montrent des dépassements de normes de potabilité pour le fer et le fluor qui sont d'origine naturelle (Mauroux et al., 2003). Concernant les problèmes de turbidité, ceux-ci sont généralement liés à la karstification importante des réservoirs du Secondaire. Les transferts rapides d'eau depuis la surface à travers les conduits karstiques s'accompagnent parfois d'une charge en matières en suspension élevée laquelle est souvent accentuée lors d'épisodes pluvieux. De plus, des problèmes microbiologiques et phytosanitaires peuvent survenir occasionnellement sur certains ouvrages.

Les réservoirs du Secondaire, de par leur importance (69 % des prélèvements ont ainsi lieu dans le Crétacé), constituent une ressource stratégique pour le département de la Dordogne. Toutefois les eaux souterraines qui les constituent montrent une certaine fragilité, liée principalement au caractère karstique et fracturé des formations carbonatées qui permettent des infiltrations d'eau rapides et en quantité depuis la surface vers les parties profondes. Il résulte de ce caractère karstique des difficultés pour la gestion des ressources en eau qui sont liées à :

- la variabilité temporelle des débits et des signatures chimiques,
- la vulnérabilité vis-à-vis des pollutions,
- des anomalies thermiques (remontées d'eaux chaudes en surface) ou températures anormalement froides en profondeur,
- des difficultés d'identification des bassins d'alimentation.

Ce projet propose d'améliorer l'état des connaissances de ces aquifères carbonatés et de préciser les modalités de fonctionnement des réservoirs liées pour certains à leur niveau de karstification. L'objectif du projet est donc double :

o **Répondre aux besoins de connaissances sur le fonctionnement général des aquifères carbonatés de Dordogne**, et notamment les systèmes karstiques en s'intéressant à

la fois au karst profond et celui plus superficiel mais également à la paléo-hydrogéologie qui « permet de comprendre les phénomènes tant hydrauliques que géochimiques actuels » (Schoeller, 1971)

- **Mettre en place une méthodologie d'étude des systèmes karstiques qui puisse être transposable à d'autres aquifères carbonatés du bassin aquitain et appropriable par les acteurs locaux** en vue de définir des orientations de gestion. Ce second point a notamment pour volonté de comprendre à court terme certains phénomènes liés au karst (turbidité, anomalies thermiques, …) en vue de la protection de certains captages.

Au sein des aquifères carbonatés du Jurassique et du Crétacé en Dordogne, des fonctionnements et des typologies diverses sont présentes. L'ensemble n'étant pas spécifiquement que karstique, l'identification des différents modes de fonctionnement est nécessaire. De plus, les problématiques liées à la gestion des eaux souterraines étant nombreuses, aussi bien en surface qu'en profondeur, elles imposent de mettre en œuvre une approche pluridisciplinaire pour comprendre les fonctionnements de ces systèmes complexes.

Deux volets complémentaires sont traités au cours de cette étude :

- Le premier concerne les aspects géologiques et structuraux qui visent à identifier les périodes géologiques favorables à la mise en place des réseaux karstiques en étudiant les différents facteurs qui en sont responsables (la nature de la roche, le climat, la végétation, les variations du niveau marin, la tectonique, les paléo-reliefs, …) ;
- Le second traite de la caractérisation des aquifères du point de vue hydrodynamique et hydrochimique permettant d'identifier et répertorier toutes les informations obtenues en surface ou en forage et d'essayer de corréler les informations recueillies afin de caractériser le fonctionnement des aquifères carbonatés.

Dans le chapitre suivant, un bilan des avancées réalisées au cours des deux premières années de l'étude est dressé pour chaque volet.

1.2. RAPPEL DES TRAVAUX DES 2 PREMIERES ANNEES DE L'ETUDE

La compréhension du fonctionnement des aquifères carbonatés s'appuie sur une approche pluridisciplinaire nécessitant une quantité importante d'informations ayant trait à la géologie et l'hydrogéologie du secteur d'étude. Ainsi, au cours des deux premières années du projet (RP-61681-FR (Cabaret et al., 2012) et RP-62902-FR (Cabaret et al., 2014)), une collecte générale de données a été effectuée permettant de proposer quelques pistes d'études (Illustration 2).

En géologie, les points importants du travail ont porté sur :

- la réalisation d'une carte géologique harmonisée au 1/50000 de la Dordogne,
- l'inventaire des formes exokarstiques, plus particulièrement des dolines, et endokarstiques (niveaux karstifiés rencontrés en forage),
- l'élaboration de logs géologiques de référence,
- l'acquisition de données de fractures sur 13 niveaux stratigraphiques différents.

L'analyse de ces informations a permis entre autres de révéler de manière schématique la présence de trois ensembles carbonatés en Dordogne avec des degrés de karstification différents mais aussi de proposer une première synthèse des grands traits structuraux et de l'évolution tectonique de la région qui devront être précisés par la suite.

En hydrogéologie, une base de données importante a été mise en place référençant les chroniques piézométriques, les essais de traçage artificiel, les mesures de débits ou encore de physico-chimie. L'analyse d'une partie de ces données a permis notamment de dégager certaines tendances portant sur la signature chimique de différents ouvrages et l'intérêt que pourraient représenter certains marqueurs, notamment ceux d'origine anthropique, et traceurs naturels dans l'étude du fonctionnement des aquifères carbonatés de Dordogne.

	Donnée/information		Objectif	Résultats année 1	Résultats année 2
Volet géologique	Aspects géomorphologiques	inventaire formes karstiques en surface	fonctionnement karstique, histoire karstification		Inventaire des dolines (terrain et bibliographie)
		inventaire formes karstiques en profondeur			Répartition spatiale des conduits karstifiés
		MNT 25 m	paléosurfaces, histoire karstification		Traitement SIG effectué
	Aspects géologiques sensu stricto	carte géologique	contexte, zones karstifiables	Harmonisation de la carte	Cartographie de la couverture
		logs géologiques			Logs régionaux de référence
	Aspects paléo-environnementaux	cartes paléogéographiques, climatologie, eustatisme, …	histoire karstification		Identification et compilation des cartes paléogéographiques disponibles
	Aspects structuraux	cartes tectoniques (plis,fractures, failles, …)	plans de drainage potentiels, géométrie des aquifères		Synthèse générale (bibliographie et relevés de fracturation)
Volet hydrogéologique	Piézométrie		fonctionnement de l'aquifère	récupérée	
	Débits de source		fonctionnement de l'aquifère	récupération des suivis de 4 sources	1 source équipée + 2 autres suivis récupérés : lancement de jaugeages
	Météorologie		support d'analyse de chroniques	stations identifiées : récupération des données en fonction des besoins	
	Traçages artificiels		vitesses d'écoulement, fonctionnement	base de données constituée	
	Bassins d'alimentation		caractérisation des aquifères (limites)	données récupérées	
	Pertes/bulides		fonctionnement karstique	informations partiellement récupérées	Analyse des Bulides
	Datations		âge des eaux souterraines	partiellement récupérées	
	Physico-chimie		fonctionnement de l'aquifère	récupérées, premières intérprétations (Faciès chimique, distribution spatiale, ACP, AFD, …)	Poursuite des interprétations (ACP, Diagrammes binaires, Variabilité temporelle, Pco_2)

Illustration 2 : Tableau synthétique des travaux réalisés au cours des 2 premières années du module (RP-62902-FR)

1.3. PROGRAMME DE L'ANNEE 3

L'ensemble des travaux menés jusqu'ici a néanmoins montré la nécessité de densifier encore davantage la quantité de données pour une meilleure représentativité des résultats à l'échelle de la Dordogne. Cette densification ne permettra cependant pas à elle seule de proposer des interprétations intéressantes que lorsque la connaissance géologique sera encore plus aboutie.

Ainsi, la troisième année d'étude, en collaboration avec le projet OKaNA, à permis d'identifier les périodes favorables à la karstification dans réservoirs carbonatés du Bassin aquitain. Enfin, quelques réflexions sont apportées quant au rôle de la tectonique et de structures particulières dans l'organisation des écoulements. Les résultats, présentés dans ce rapport, s'articulent en 2 parties :

- Chapitre 2 : Formations géologiques et paléogéographie
- Chapitre 3 : Interactions entre structure, sédimentologie et hydrogéologie

En parallèle, le **volet hydrogéologique** a consisté en l'inventaire des sources et l'acquisition de données de débits et de physico-chimie afin de disposer d'une meilleure spatialisation des données et d'une information qui soit la plus exhaustive possible. Cet inventaire pose les bases d'acquisition de données futures notamment sur plusieurs périodes du cycle hydrologique (étiages et hautes eaux). Enfin, sur la base des données obtenues au cours du projet, un travail expérimental est proposé sur l'analyse des modalités d'infiltration en lien avec la vulnérabilité des bassins d'alimentation de 2 sources. Ces résultats sont présentés dans un second temps :

- Chapitre 4 : Consolidation des données sur les sources
- Chapitre 5 : Typologies du karst affleurant, en lien avec les modalités d'infiltration et la vulnérabilité des bassins d'alimentation

2. Formations géologiques et paléogéographie

2.1. CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE

Une carte géologique de Dordogne a été réalisée lors de l'année 1 du projet (Rapport BRGM RP-61681-FR). Une mise à jour a été réalisée lors de l'année 3 intégrant des modifications de noms de formations ainsi que la correction d'erreurs sur des codifications de polygones repérées et des erreurs de digitalisation observées. Ces erreurs sont héritées de la donnée source provenant de la digitalisation des cartes géologiques au 1/50 000ème.

2.2. SYNTHESE DES FORMATIONS ET DE LEUR EVOLUTION LATERALE

Deux documents de synthèses (annexes 1 et 2) ont été élaborés afin de dresser un premier état des connaissances sur les formations dans leurs détails ainsi que leur organisation et évolution latérale. Bien qu'ils s'appuient sur des cartes géologiques et des travaux et thèses réalisés dans la région par de nombreux auteurs (Astruc, 1988 ; Capdeville, 1987 ; Cubaynes et al., 1989 ; Cubaynes et al., 1995, Curnelle, 1983 ; Curnelle et Dubois, 1986 ; Dubreuilh, 1987 ; Faugeras, 1984 ; Foucher, 1986 ; Hantzpergue, 1979 ; Hantzpergue, 1988 ; Pelissié, 1982 ; Platel, 1987 ; Platel, 1996 ; Rey et al., 1988 ; Rey et al., 1995 ; Serrano, 2001 ; Serrano et al., 2006 ; Sztràko et al., 2010), **ces documents doivent être considérés comme des outils de réflexion qui, pour certains secteurs géographiques ou entités stratigraphiques, nécessitent d'être discutés, complétés et/ou validés. Ils doivent donc être utilisés avec toute la précaution nécessaire**. Ces documents seront amendés au fur et à mesure du projet.

2.3. ÉLABORATION DE CARTES PALEOGEOGRAPHIQUES : EXEMPLE DE LA PERIODE CRETACE INFERIEUR

Les cartes paléogéographiques permettent de situer géographiquement les différents faciès de dépôts ainsi que les zones émergées. Pour les thématiques karstiques, elles favorisent la visualisation des secteurs potentiellement karstifiés ainsi que les variations de faciès dans les séries sédimentaires carbonatées au travers de la juxtaposition des informations sur la lithologie, les éléments structuraux, les marqueurs spécifiques (karstification profonde par exemple), les environnements de dépôts observés ou reconnus en forage et les environnements supposés (non reconnus, érodés ou non déposés).

Sur la base de l'inventaire des cartes paléogéographiques listées dans le rapport RP-62905-FR (Cabaret et *al.,* 2014), un premier exemple de carte paléogéographique a été édité. La période choisie est une des périodes la moins renseignée de l'histoire du Bassin aquitain : le Crétacé inférieur (Illustration 3). Cette carte permet d'identifier la zone de Jurassique potentiellement karstifiée qui pourrait s'étendre au secteur continental (en rouge).

L'élaboration de ces cartes avec une légende commune sera poursuivie au cours du projet puis amendée de nouvelles données obtenues de projets en cours et à venir afin de préciser les premiers éléments de la synthèse de l'histoire géologique du Bassin (Chapitre 2.4 ci-dessous) et d'appuyer les discussions futures quant aux dynamiques de karstification dans le Bassin aquitain.

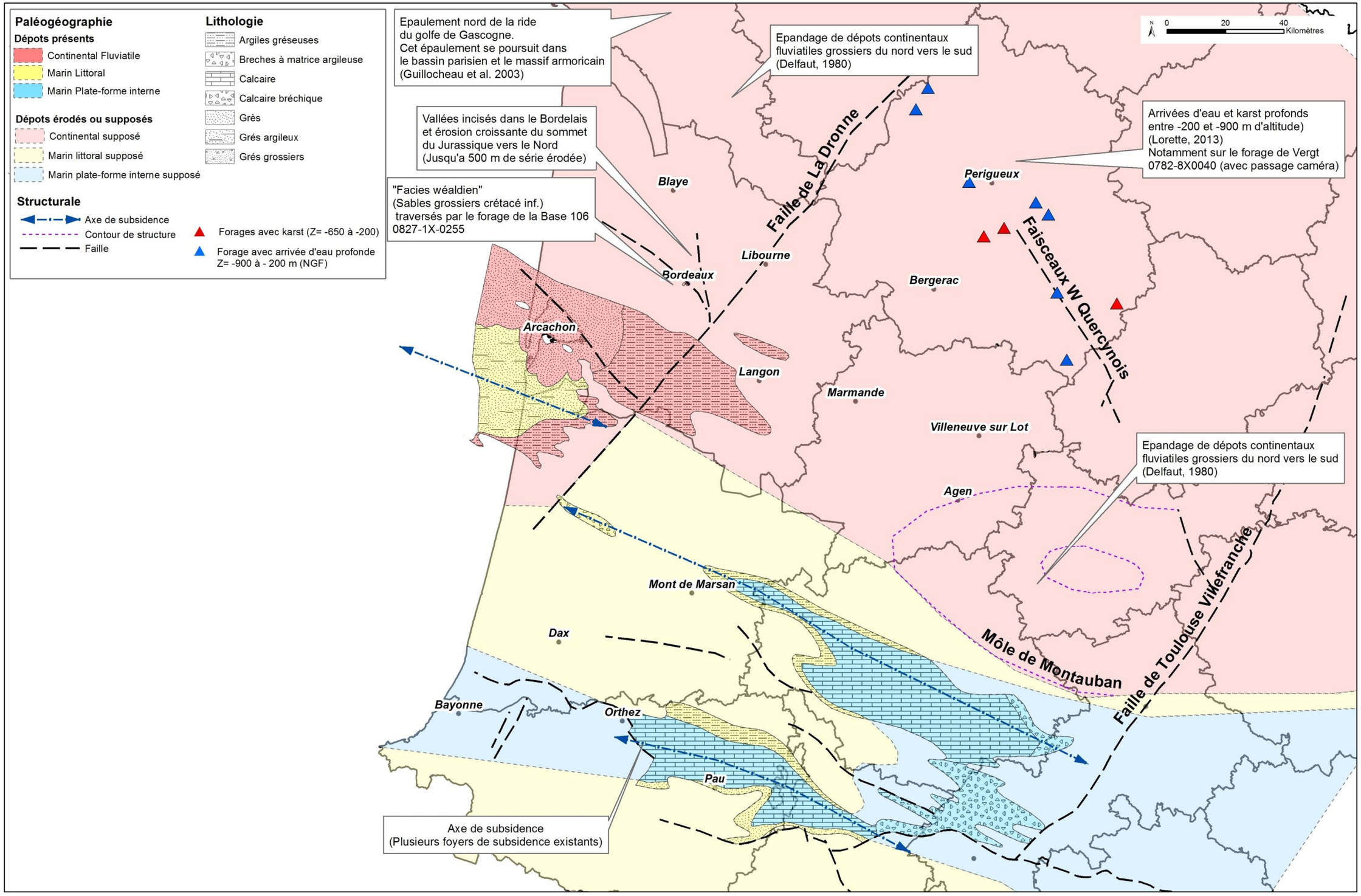


Illustration 3 : Carte paléogéographique de la base du Crétacé inf. (Néocomien) modifiée de l'atlas géologique du Bassin aquitain de 1974

2.4. HISTOIRE GEOLOGIQUE DU BASSIN AQUITAIN

En vue de favoriser la compréhension du fonctionnement hydrodynamique des réservoirs carbonatés de la de la bordure nord-aquitaine, il est nécessaire en premier lieu de réaliser une synthèse géologique du Bassin qui permet d'identifier les périodes favorables à la karstification de ces réservoirs et leurs conditions de mise en place. Depuis 2014, Cette problématique est abordée, avec l'appui du présent module de la convention régionale, au travers du projet de recherche OKaNA portant sur l'Origine, la caractérisation et la distribution prédictive du Karst de la bordure Nord-Aquitaine (Quercy, Périgord et Charentes).

Au cours de ce projet, une première synthèse bibliographique a permis de dégager 3 grandes périodes majeures de karstification. Nous reprenons ici certains éléments de synthèse issus du premier rapport intermédiaire d'OKaNA (Husson, 2015) :

> *Trois périodes ont été identifiées comme favorables à la mise en place d'un karst affectant les séries jurassiques et crétacées du Bassin aquitain (Illustration 4) :*
>
> > *1) **Au Crétacé inférieur**, lors de l'ouverture du Golfe de Gascogne, des mouvements géodynamiques de grandes longueurs d'onde bouleversent la paléogéographie de la région. Une surrection affecte l'ensemble de la région nord-aquitaine pouvant être responsable d'une érosion et altération intense des terrains jurassiques.*
> >
> > *2) **Au cours du Paléogène**, une intense période d'altération se développe au Paléocène affectant l'ensemble des dépôts carbonatés mésozoïques, puis à l'Eocène, la chute progressive du niveau de base permet la mise en place du réseau hydrographique et le développement de conduits karstiques importants.*
> >
> > *3) **Du Miocène à l'actuel**, la surrection du Massif Central combinée aux variations glacio-eustatiques plio-quaternaires, sont responsables du décapage progressif de la couverture sédimentaire tertiaire et crétacée supérieure et de l'incision du réseau hydrographique. Lors de cette dernière évolution, les zones amont révèlent le substratum jurassique à l'affleurement dans lequel les circulations hydrologiques réactivent une partie des anciens conduits karstiques profonds et abandonnent les cavités maintenant fossiles que l'on retrouve à faible profondeur sous la surface des plateaux.*
>
> *Corrélées à des chutes du niveau de base, ces trois périodes ont constitué les principales étapes d'une karstification affectant les terrains mésozoïques, et contribuant ainsi à la formation, l'organisation et au fonctionnement actuel des réservoirs.*

Dans le détail, le Bassin aquitain est régulièrement soumis à des phases tectoniques qui accompagnent localement l'altération et la karstification des séries carbonatées. Ainsi, l'élaboration de cartes paléogéographiques actualisées et à résolutions (temporelle et spatiale) fines devraient permettre d'identifier des réservoirs et secteurs karstifiés plus précisément.

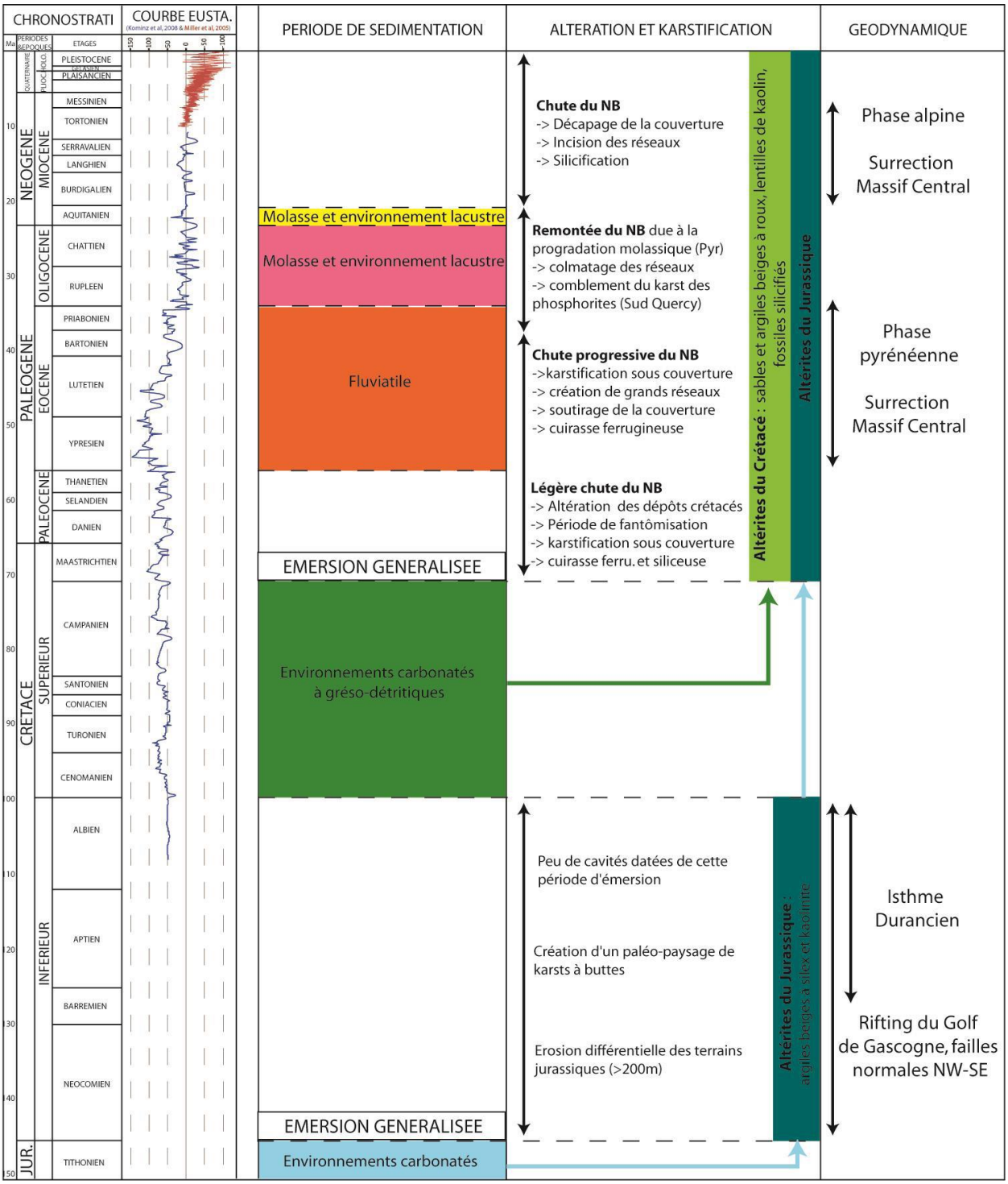


Illustration 4 : Charte chronostratigraphique de la bordure nord-aquitaine représentant schématiquement les périodes de sédimentation, d'altération/karstification et les épisodes géodynamiques (Husson, 2015). NB=niveau de base

3. Interactions entre structure, sédimentologie et hydrogéologie

Après un travail de reconnaissance des structures (failles et plis) sur le domaine nord-aquitain et l'exposition des mécanismes généraux de contrôle des bassins sédimentaires, une illustration des interactions entre la structure, la sédimentologie et l'hydrogéologie est proposée au travers de l'exemple de l'étude des récifs jurassiques.

3.1. AJOUT ET HOMOGENEISATION DES STRUCTURES TECTONIQUES

Une base homogène et normalisée des objets structuraux a été réalisée, en utilisant :

- des structures récemment mises en évidence dans le cadre de ce projet ou d'autres études du BRGM,
- des structures décrites dans la bibliographie et non reproduites dans les cartes géologiques du BRGM,
- les éléments déjà existants sur les cartes géologiques numérisées au 1/50 000.

Deux couches SIG ont été créées concernant d'un côté les failles et de l'autre les axes de plis. Pour chaque couche, accompagnée d'une légende graphique (Illustration 5), les apports des travaux menés cette année sont illustrés à travers la comparaison des cartes de l'état initial (Illustration 6 et Illustration 8) et de l'état actuel (illustration 7 et illustration 9).

Une normalisation de ces données a été réalisée. La légende est organisée sous forme de matrice (Illustration 10) qui permet plus de précision dans l'identification de l'objet. La légende proposée ici a été développée pour être quasi exhaustive. Certains objets ne sont pas présents sur le secteur étudié mais leur codage est toutefois défini ce qui permettra d'utiliser ces couches ultérieurement sur des domaines plus vastes.

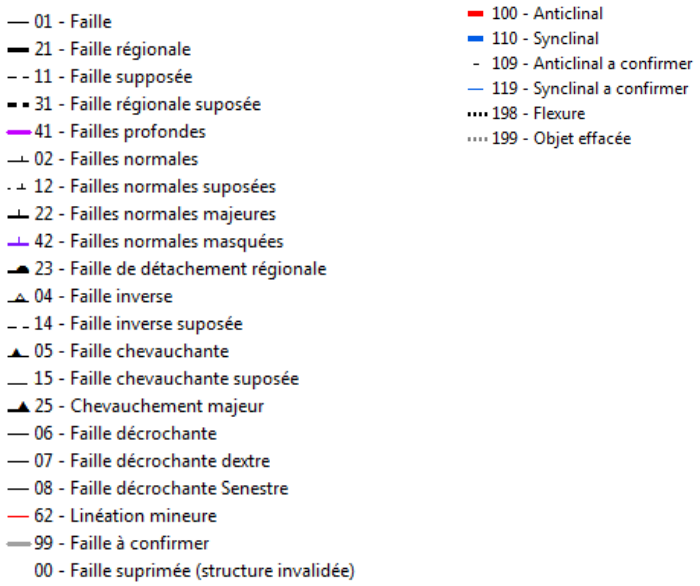


Illustration 5 : Légende et figurés proposés pour les couches de failles et de plis

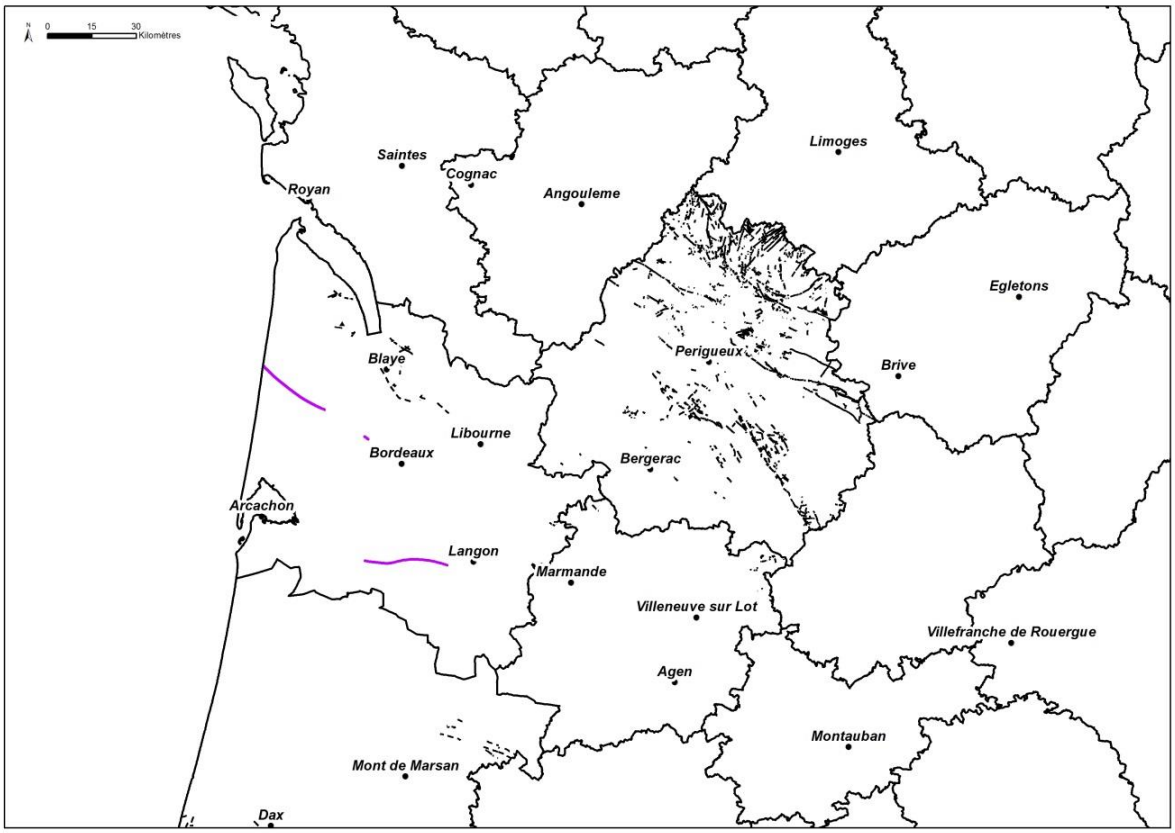


Illustration 6 : Etat initial du SIG des failles nord-aquitaines en 2012 (failles présentes sur les cartes géologiques au 1/50 000)

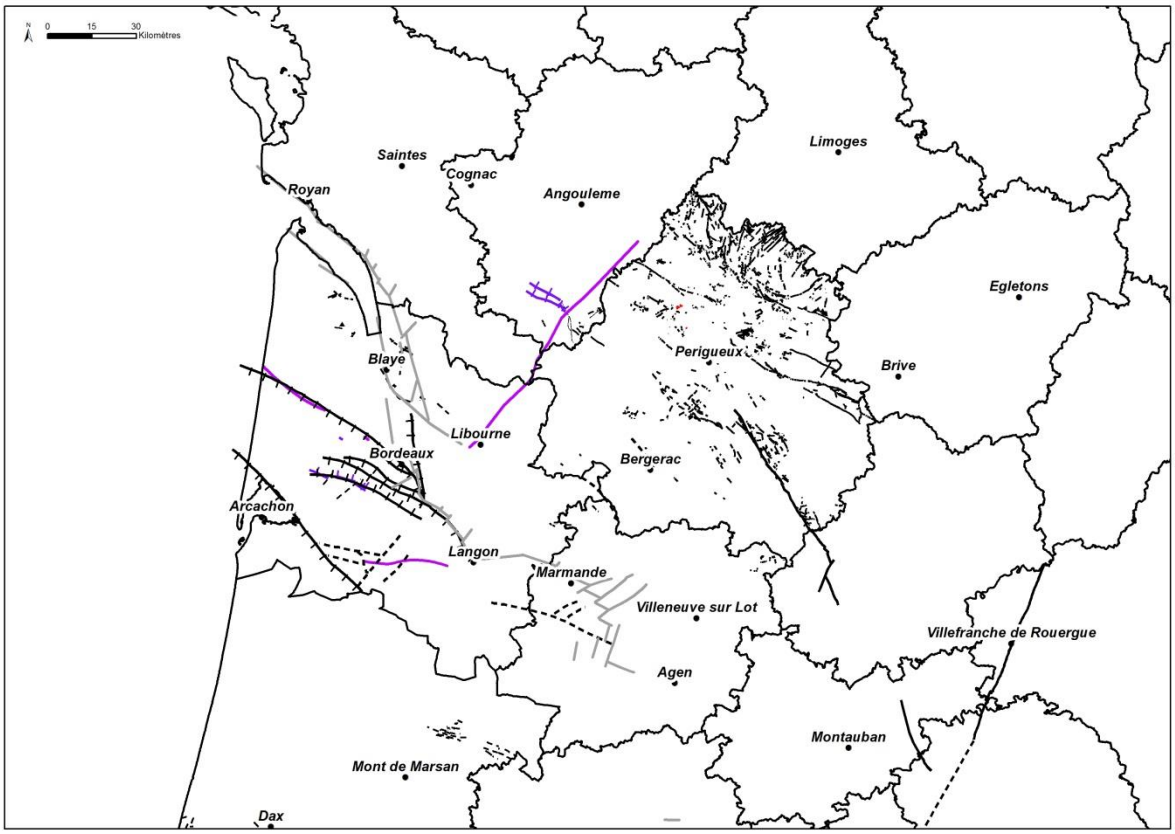


Illustration 7 : Aperçu du SIG des failles nord-aquitaines en 2014 avec les apports de l'année 3

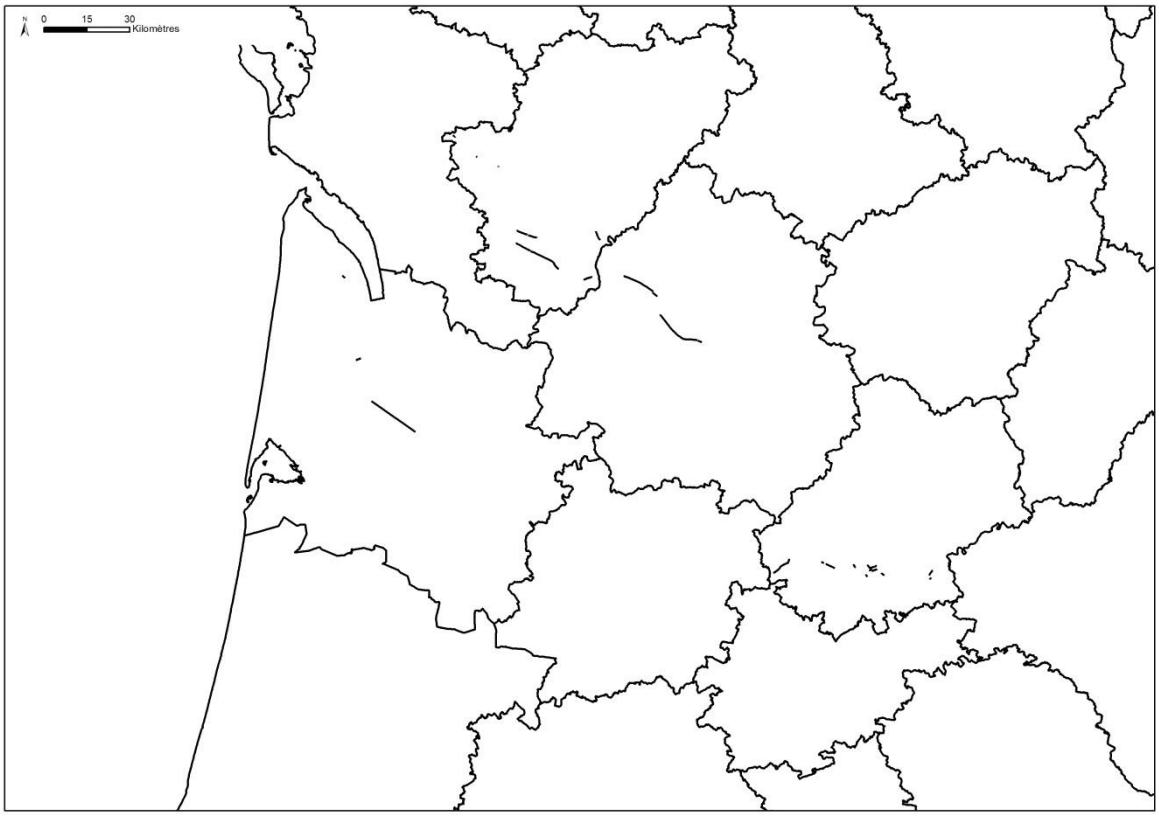


Illustration 8 : Etat initial du SIG des plis nord-aquitains en 2012 (structures présentes sur les cartes géologiques au 1/50 000)

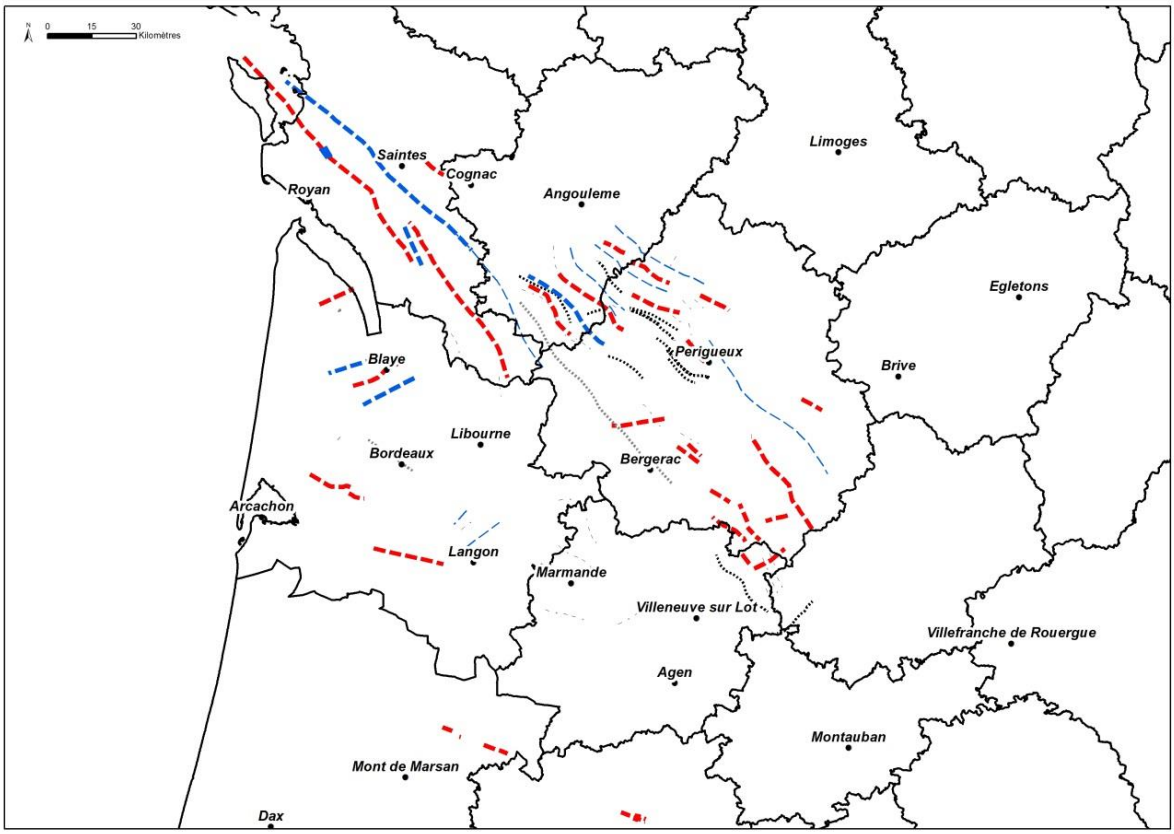


Illustration 9 : Aperçu du SIG des plis nord-aquitains en 2014 avec les apports de l'année 3

	Codes		Principe de symbologie
	0-99	Failles	
	100-199	Plis	
	200-299	Structurale interne (schistosité, ...	
	300-399	Géomorphologie	

Failles (légende matricielle)

Failles Observée	Failles suposée	Failles régionales	Failles régionales suposée	Failles majeures masquées, reconnues en profondeur	Type de faille / Derniers jeu exprimé	Pour les failles régionales : il s'agit du trait simplifié des failles régionales (trait parfois en doublon avec le contour cartographique). Pour les failles masquées il s'agit de failles scéllés par un recouvrement, de failles identifiés en sondages ou sur géophysique.
0					Faille éffacée	Structure invalidé
1	11	21	31	41	Faille non précisée	Ligne continue simple ou pointillés simple
2	12	22	32	42	Faille Normale	Ligne continue ou pointillée avec tirés perpendiculaires dans le sens effondré, Double tireté si syn-sedimentaire (pendage de la faille souvent fort à sub-vertical)
3	13	23	33	43	Faille de détachement	rarement cartographiée, Ligne continue ou pointillée avec des demi-cercles dans le sens effondré (pendage souvent faible à sub-horizontal)
4	14	24	34	44	Faille Inverse	Ligne continue ou pointillée avec triangle vide dans le sens d'origine du chevauchement (pendage de la faille souvent fort à sub-vertical)
5	15	25	35	45	Chevauchement	Ligne continue ou pointillée avec triangle plein dans le sens d'origine du chevauchement (pendage souvent faible à sub-horizontal)
6	16	26	36	46	Faille décrochante non précisé	Ligne continue simple ou pointillée avec sens du mouvement exprimé en plan par des flèches (failles souvent subverticales)
7	17	27	37	47	Faille décrochante Dextre	
8	18	28	38	48	Faille décrochante Senestre	
9	19	29	39	49	Faille à jeux polyphasés verticaux	Ligne avec symbole inverse et normal
10	20	30	40	50	Faille à jeux polyphasés verticaux et horizontaux	Double ligne

Linéations

61	Linéation **majeure** (photo interprétation)	
62	Linéation **mineures** (photo interprétation)	Diaclase, structures observés à petites échelles sur photos aériennes
63	Linéation **majeure** (Géomorphologie)	
64	Linéation **majeure** (Géomorphologie)	

Structure de faille

71	Zone intensément fracturée	Faisceaux de failles
72	Cataclase	"breches de failles"
73	Mylonite indif.	
74	Catamylonite	
75	Blastomylonite	
76	Ultramylonite / Pseudotachylite	
77	Mylonite "froide"	
78	Mylonite "chaude"	
79	Tectoglyphes exprimée	

Failles a confirmer

99	Failles à confirmer	

Axes de plis

100	Anticlinal	
101	Anticlinal de faible amplitude	
102	Anticlinal profond masquée	Souvent des Diapirs, observé en sondages ou geophysique
103	Anticlinal déjeté ou déversé (un flanc inverse)	
104	Anticlinal à double flancs inverse ("En champignon")	
105	Anticlinal coffrée (en kink band, chevrons)	
108	Antiforme de très petite taille	A l'affleurement
109	Anticlinal non confirmé	
110	Synclinal	
111	Synclinal de faible amplitude	
112	Synclinal profond masquée	
113	Synclinal déjeté ou déversé (un flanc inverse)	
114	Synclinal à double flancs inverse ("En blague à tabac")	
115	Synclinal coffrée (en kink band / chevrons)	
118	Synforme de très petite taille	A l'affleurement
119	Synclinal non confirmé	
198	Flexure	Ancien terme imprecis à reprendre
199	Structure éffacée	

Lignes tectoniques diverses

Shistosité, Foliation, Fluidalité magmatique

200	Schistosité ou Foliation	Trajectoire
201	Fluidalité magmatique	Trajectoire
202	Front de Schistosité	
203	Front de Schistosité	Sous recouvrement
204	Limite de zone de métamorphisme	exemple : zone à biotite

Divers

301	Incisions, ravins de surcreusement	ex: Messinien
302	Décrochement	Trajectoire

Illustration 10 (sur 2 pages) : Eléments structuraux linéaires et leur codage dans la table attributaire étendue à toute la région Aquitaine pour la constitution ultérieure de la synthèse structurale régionale. Les codes pour les failles sont organisés sous forme de matrice.

3.2. ROLE DE LA TECTONIQUE : GENERALITES

L'illustration 11 présente dans le détail l'implication de la tectonique, de l'eustatisme et de l'apport sédimentaire sur le niveau de base, les dépôts, l'altération et les conséquences possibles sur les échanges verticaux et horizontaux intra et inter aquifères. Parmi les trois facteurs de contrôle des bassins sédimentaires évoqués, celui de la tectonique est le plus déterminant sur l'amplitude du niveau de base et donc des érosions et des dépôts.

En effet, il a des conséquences majeures sur :

- la répartition latérale des faciès et donc de la perméabilité et des circulations latérales d'eau,
- l'érosion des séries exondées avec de possibles transferts hydrogéologiques verticaux,
- les décalages liés à des failles qui peuvent, suivant les cas, isoler des aquifères latéralement ou faciliter des échanges entre aquifères décalés. Lorsque ces structures affleurent, des exutoires ou réalimentations sont possibles (il en est de même pour les structures plissées),
- les profils d'altération qui conduisent au démantèlement ou à la minéralisation des séries (couverture principalement) et à la possible karstification des séries carbonatées.

L'illustration 12 présente différentes configurations d'évolution du niveau de base en fonction de la géodynamique, contrôlée par la tectonique.

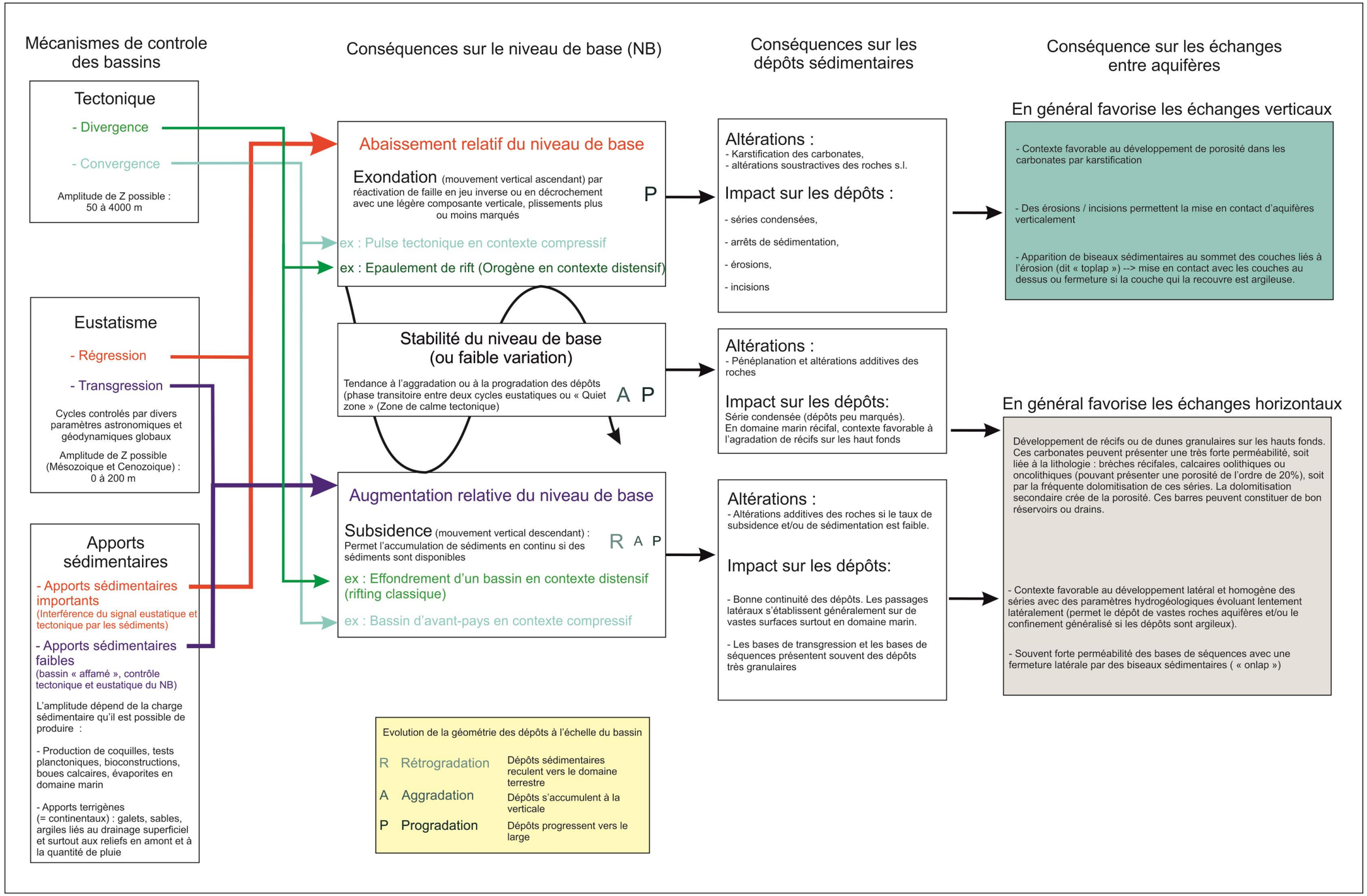


Illustration 11 : Rôle des différents mécanismes de contrôle des bassins et implications sur le niveau de base, les dépôts et les échanges entre aquifères

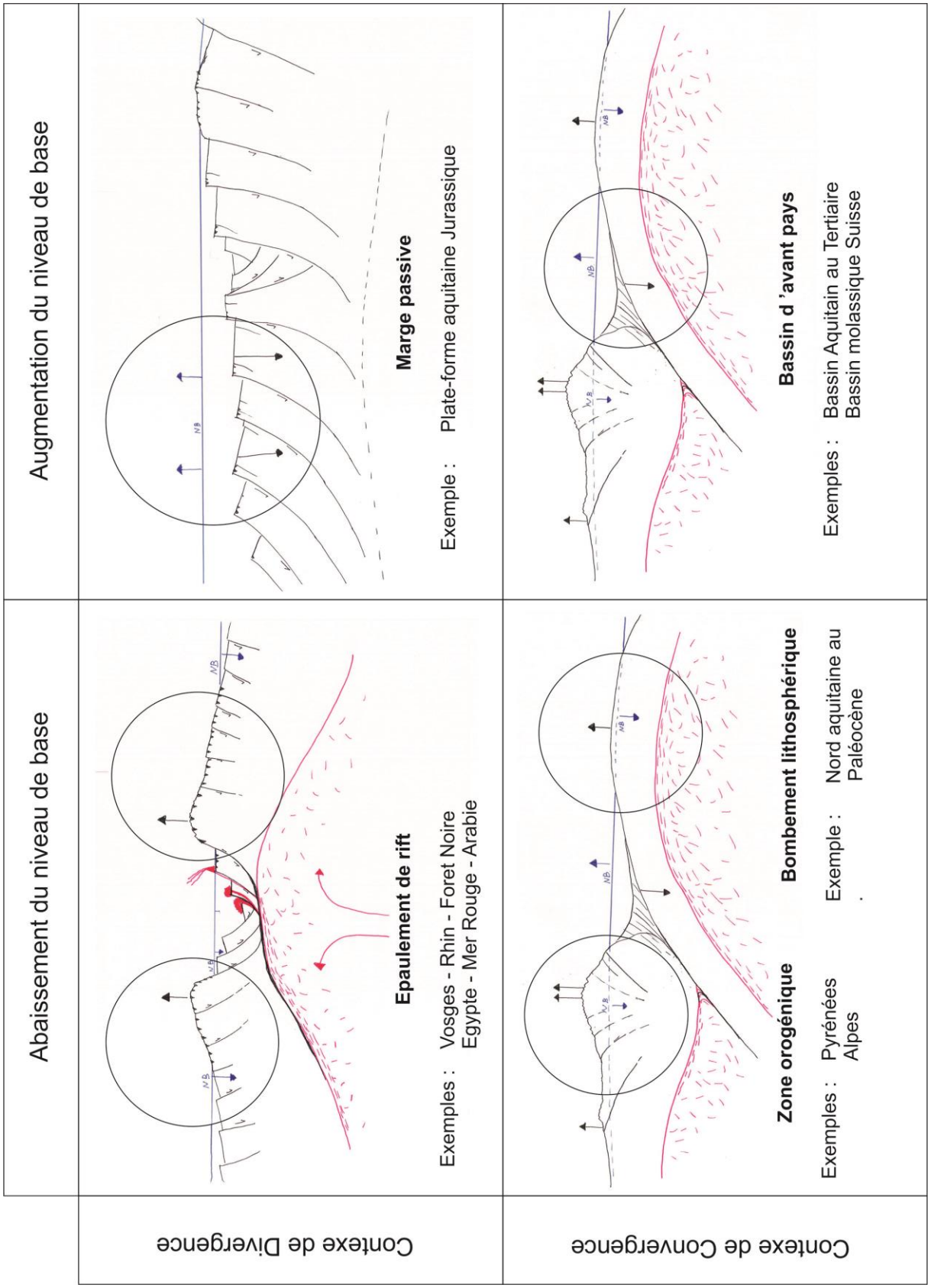


Illustration 12 : Lien entre niveau de base général et contexte géodynamique

3.3. EXEMPLE DE CONTROLE SEDIMENTAIRE : LES RECIFS JURASSIQUES

Les hauts-fonds jouent un rôle important dans l'hydrodynamisme régional. En effet, le faciès des dépôts de ces hauts-fonds implique souvent de fortes porosités-perméabilités qui influencent les écoulements au sein d'un aquifère et les échanges entre réservoirs.

La présence de structures profondes préexistantes dans le socle peut déterminer la position des hauts fonds. Deux grandes structures présentes dans le bassin nord-aquitain semblent présenter ce cas-là (Illustration 3) :

- le faisceau Ouest Quercynois orienté NW-SE
- la faille de la Dronne orientée SW-NE.

Le rôle de ces secteurs est présenté ci-après, notamment en termes d'implications hydrogéologiques.

3.3.1. Contexte général de la plate-forme dans le sud de la France au Jurassique

Durant le Jurassique, une mer de très faible profondeur envahit le Bassin aquitain permettant le développement d'un haut-fond sur les secteurs du Périgord, Quercy, Rouergue, des Grands Causses et du Seuil Cévenol : Le haut-fond Occitan (Illustration 13). Il sépare la Téthys située au Sud Est (correspondant au bassin sur l'illustration 13) d'une mer intérieure, prémices de l'Atlantique en cours d'ouverture au Nord-Ouest (correspondant à la plateforme externe sur l'illustration 13).

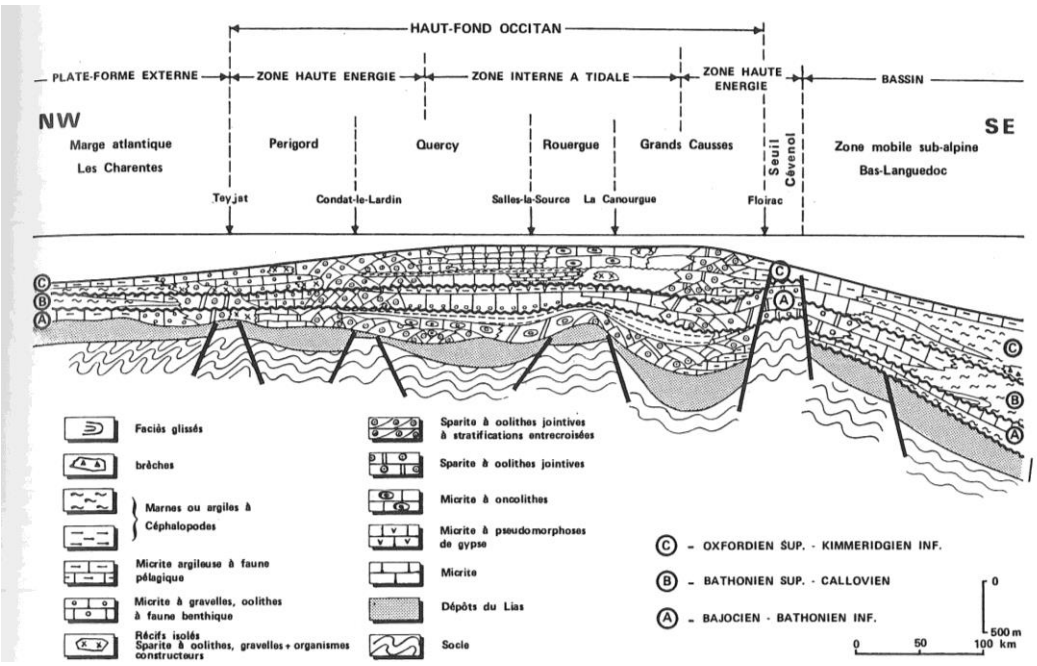


Illustration 13 : Le haut-fond occitan (d'après Delfaut et al., 1980)

3.3.2. Situation des récifs du Périgord et des Charentes au Jurassique

Delfaut et al. (1980) décrivent des récifs et hauts-fonds jurassiques constitués de polypiers ou de dépôts granulaires (oolithes et/ou oncolithes). La position de ces récifs est relativement stable dans le temps sur une même verticale, durant tout le Jurassique. Elle coïncide approximativement à leur base avec une lacune dans le Lias. On distingue 2 secteurs où se développent les hauts fonds (

Illustration 14) :

- **Secteur Brantôme-Angoulême** qui s'accompagne des caractéristiques suivantes : lacunes importantes du Lias, un haut-fond continu au Dogger puis 3 biostromes au cours du Malm.
- **Secteur Est Périgord Sarla-Martel :** la lacune du Lias se limite à la base du Lias (Hettangien pour partie), puis 4 niveaux sont illustrés au Dogger. Il n'y a pas de haut-fond au cours du Malm.

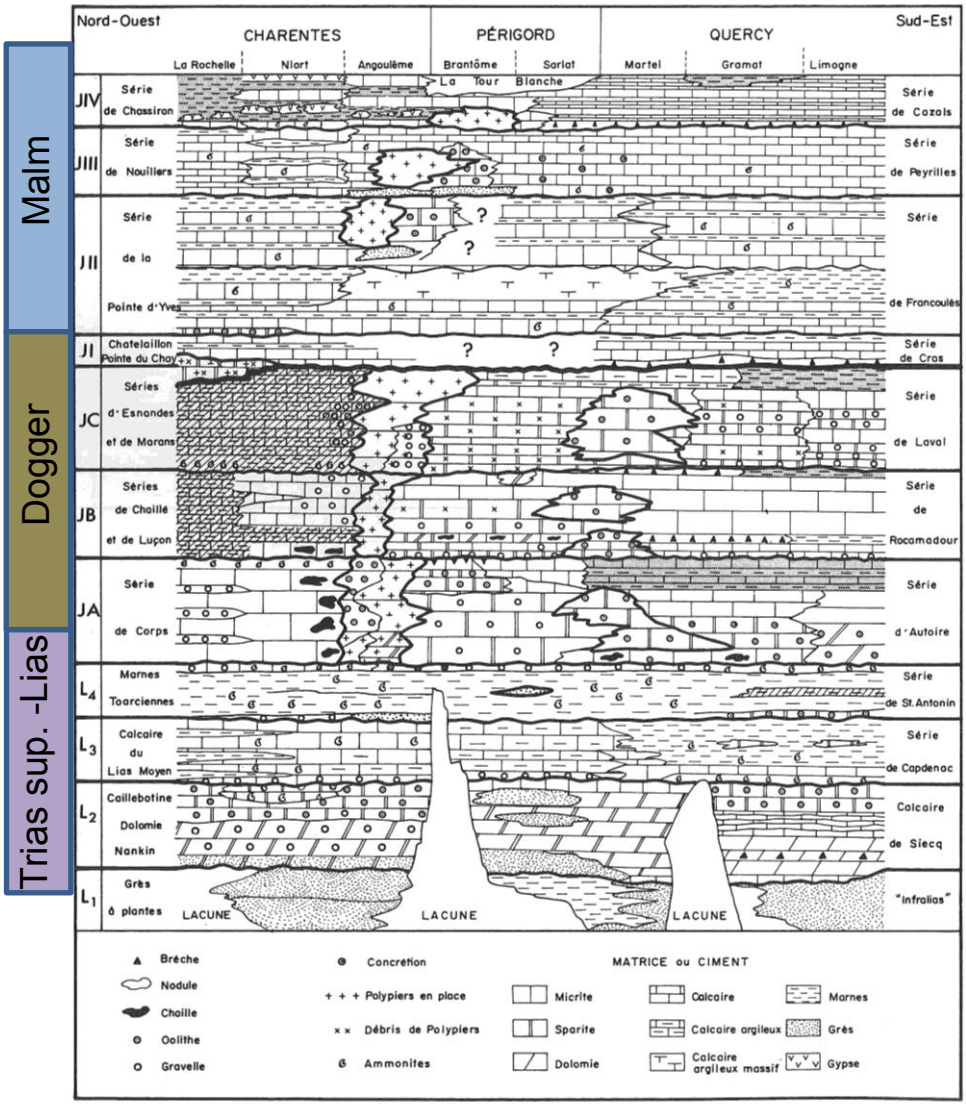


Illustration 14 : Séries du Jurassique nord-aquitain. Les formations ont été redéfinies ultérieurement mais ce document montre la position des récifs de polypiers et de faciès granulaires (oolithes, oncolithes) (d'après Delfaut et al.,1980)

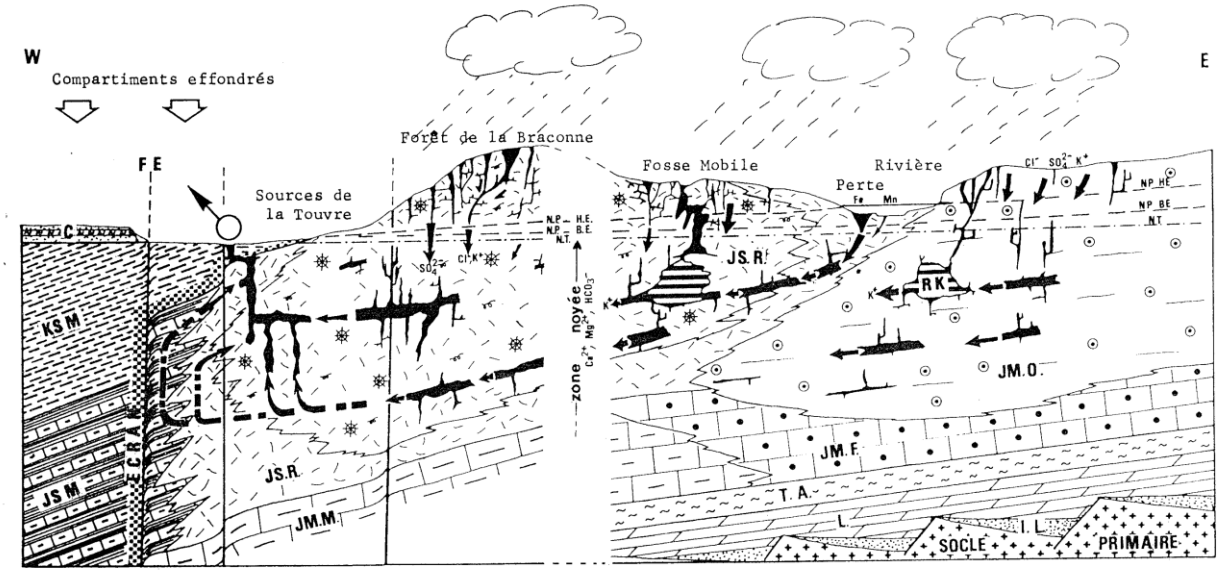
3.3.3. Implications hydrogéologiques : exemple de La Touvre

La position de ces hauts-fonds récifaux peut jouer un rôle prépondérant dans la circulation des eaux souterraines à l'image du site des sources de la Touvre au sud d'Angoulême (Illustration 15). Ces sources sortent des calcaires récifaux de l'Oxfordien-Kimméridgien inférieur, à la faveur de la faille de l'échelle qui met en contact ces calcaires avec les marnes du Kimméridgien supérieur (Rouiller, 1987).

La permanence d'une sédimentation de haut-fond, telle que celle de la Touvre, entraîne d'un point de vue hydrogéologique certaines spécificités :

- Les dépôts de barrières présentent très fréquemment une forte porosité :
  - Brèches récifales ;
  - Calcaires granulaires à oolithes ou oncolithes ;
  - Dolomitisation secondaire très fréquente avec création de porosité ;
  - Karstification possible lors de phase d'émersion.

  Ces faciès granulaires poreux et perméables peuvent jouer un rôle de drains préférentiels dans les séries. Dans le cas du Périgord-Charente, ces drains seraient alors orientés N-S ou NW-SE pour le Jurassique.
- Les échanges entre nappes, notamment ascendants, sont favorisés. **La présence de faciès de barrière permet donc de supposer la présence de zones d'échanges potentielles facilitant les circulations d'eau et notamment les transferts verticaux.**



Légende : NP.HE : niveau piézométrique en hautes eaux, NP.BE : niveau piézométrique en basses eaux , NT : niveau de la Touvre, I.L : Infra Lias, L : Lias, T.A. : Toarcien-Aalénien, JM.F : Faciès fin du Jurassique moyen, JM.O : Jurassique moyen oolithique, JM.M : Jurassique moyen à tendance marneuse, JS.R : Jurassique supérieur récifal et périrécifal, JS.M : Faciès marneux du Jurassique supérieur, KS.M : Kimméridgien supérieur marneux, C : Crétacé, R.K : Remplissages karstiques argilo-sableux, F.E : Faille de l'Echelle.

Illustration 15 : Fonctionnement synthétique du réseau de La Touvre (Charentes) et le lien entre les écoulements karstiques et les variations de faciès (Hantzpergue, Mudry et Rouiller, 1988)

La délimitation précise de ces zones de haut-fond jurassiques orientées N-S ou NW-SE peut donc revêtir d'un intérêt particulier pour la compréhension du fonctionnement hydrogéologique des aquifères karstiques. Le rôle de ces hauts-fonds dans la position des sources jurassiques et dans leurs débits et signatures physico-chimiques seront à rechercher pour mieux appréhender l'hydrodynamisme régional des réservoirs carbonatés.

4. Consolidation des données sur les sources

La compréhension du fonctionnement des aquifères carbonatés de manière générale et plus spécifiquement de leur fonctionnalité karstique nécessite la caractérisation des données relatives à leur exutoire. Parmi les éléments de caractérisation, la connaissance des débits des sources est primordiale puisqu'elle trouve plusieurs applications dans l'estimation du bassin d'alimentation ou encore dans l'évaluation de la ressource. S'il est préférable d'avoir des mesures continues de débits et/ou de paramètres physico-chimiques (température et conductivité de préférence) sur un cycle hydrologique au minimum, des mesures ponctuelles notamment en hautes eaux et basses eaux permettent d'apprécier, même grossièrement, la fonctionnalité karstique d'un exutoire (Dörfliger et al., 2010). Ainsi, un travail spécifique d'acquisition de données sur les débits des sources en Dordogne a été initié en année 3 du projet. En parallèle, de nouvelles mesures physico-chimiques (in situ et en laboratoire) sont venues compléter les bases de données et enrichir les analyses effectuées les années précédentes.

4.1. INVENTAIRE DES SOURCES

L'extraction de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) a permis de dénombrer dans un premier temps 1659 sources (au 25 août 2014) sur l'ensemble du département. En complément, la lecture de rapports de bureaux d'études et de thèses a permis d'identifier 24 sources supplémentaires.

Afin de compléter cet inventaire, les communes de Dordogne ont été mises à contribution dans la continuité des démarches entreprises en 2004 dans le cadre de l'année 2 du module 1 de la convention pluriannuelle (2002 - 2006) « Gestion des Eaux Souterraines en Région Aquitaine », visant à améliorer les connaissances sur les nappes d'intérêt régional (Saplairoles et al., 2005). En effet, une large enquête auprès des 557 communes de Dordogne avait été réalisée. Les 442 communes ayant répondu (79,35 %) avaient alors permis de répertorier 821 nouvelles sources (par la suite intégrées dans la BSS). Ainsi, les 115 communes n'ayant pas répondu à cette première enquête ont été relancées. Au 25 août 2014, 34 des 115 communes avaient répondu (soit 29,57%), permettant de recenser 117 nouvelles sources en Dordogne. Depuis, de nouvelles relances ont été effectuées, pour lesquelles 40 communes supplémentaires ont répondu et ont permis d'inventorier 55 nouvelles sources. Ces dernières n'apparaissent pas dans les bilans présentées dans la suite du rapport.

Au final, 1800 sources sont actuellement recensées en Dordogne (Illustration 16 et Illustration 17).

	Sources issues de la BSS	Sources issues d'ouvrages bibliographiques	Sources issues du sondage auprès des communes	Total
Nombre	1659	24	117	1800
Pourcentage	92.17%	1.33%	6.50%	100.00%

Illustration 16 : Nombre et répartition des sources inventoriées au 25 août 2014 en fonction de l'origine de l'information (Stöckle, 2014)

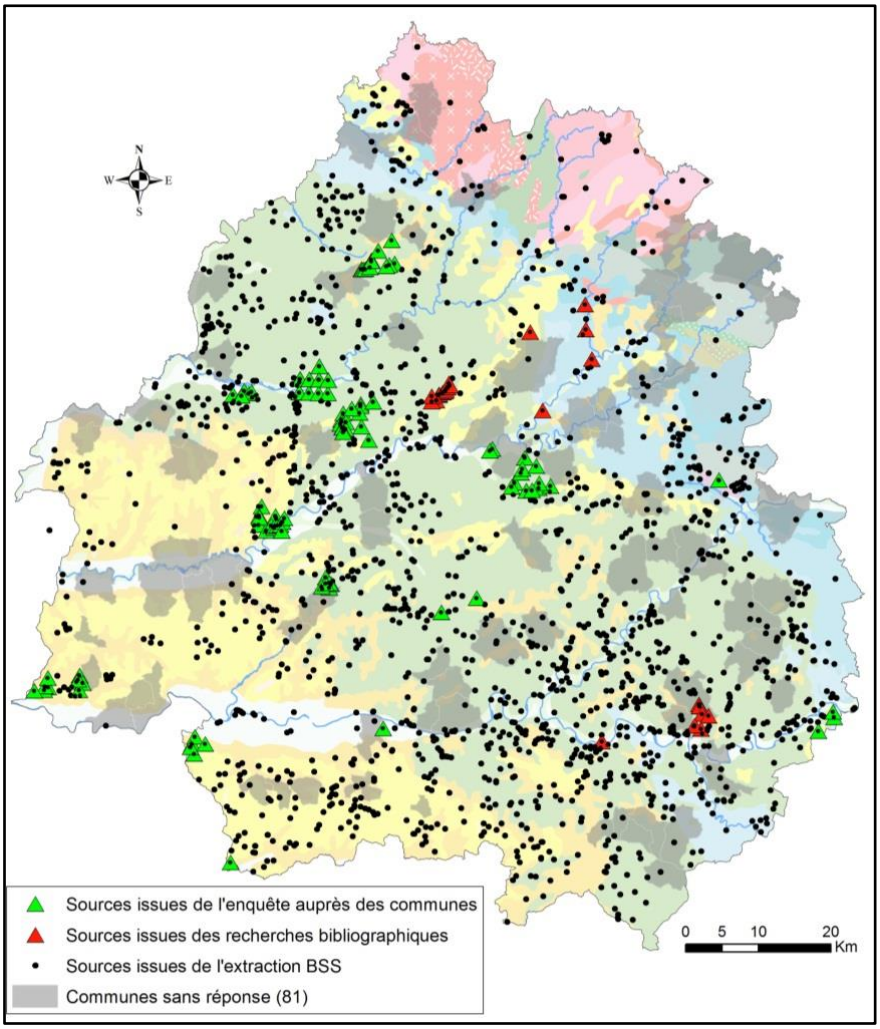


Illustration 17 : Carte de répartition des sources de Dordogne au 25 août 2014 en fonction de l'origine de l'information. Communes n'ayant pas encore répondu à l'enquête (modifié de Stöckle, 2014)

Une tentative de répartition des sources par aquifère (jurassique et crétacé) peut être proposée (Illustration 18). Cette attribution a été réalisée à l'aide des fiches BSS et de la caractérisation faite lors de la grande campagne de terrain réalisée en 1969 et 1970 (Bellegarde et al., 1971).

	Sources jurassiques	Sources crétacées	Sources tertiaires, du socle et non définies	Total
Nombre	46	492	1262	1800
Pourcentage	2,56%	27,33%	70,11%	100,00%

Illustration 18 : Nombre et répartition des sources inventoriées au 25 août 2014 en fonction de la formation aquifère (Stöckle, 2014)

Au terme de cet exercice, la contribution des communes apparait primordiale pour faciliter l'inventaire des sources. Cependant, la qualité de l'information remontée par les mairies reste succincte puisqu'elle se limite simplement à l'attribution d'un nom et à un positionnement, parfois imprécis, sur l'extrait de carte IGN à 1/25 000ème. En conséquence, cet inventaire doit être pris avec la précaution nécessaire et devra autant que possible être validé sur le terrain.

4.2. ACQUISITION DE DONNEES DE DEBITS

4.2.1. Inventaire historique et mesures de terrain

Entre 1969 et 1971, dans le cadre du projet « Evaluation des ressources en eau du département de la Dordogne » (Bellegarde et al., 1971), le BRGM a mené une grande campagne de terrain basée notamment sur une analyse quantitative des sources de Dordogne dont les résultats sont repris sous forme de fiches descriptives dans la BSS (documents scannés). Ces fiches ont été consultées pour servir de base à l'inventaire des débits des sources du département.

Sur les 1659 sources présentes dans la BSS, 617 disposent d'au moins une valeur de jaugeage historique, dont 204 avec un débit supérieur à 20 m^3/h (Illustration 19). Cet inventaire présente cependant quelques limites car les données sont anciennes, la méthode de jaugeage n'est pas décrite et la configuration du site, avec le lieu exact de la mesure, est rarement indiquée. La date de mesure permet néanmoins de situer grossièrement le débit dans le cycle hydrologique hautes eaux/basses eaux. Ainsi, dans l'optique de consolider la donnée existante et d'en acquérir de nouvelles, une campagne de terrain a été initiée entre avril et juin 2014. Celle-ci a été organisée de façon à :

- passer sur les sources ayant une configuration connue pour optimiser le temps de terrain ;
- identifier la méthode de mesure adaptable à chaque configuration de source.

Au total, sur les 56 sources visitées, 24 ont été jaugées (Annexe 3), selon la configuration du site soit par la méthode volumétrique (jaugeage au seau) soit par exploration du champ de vitesse (courantomètre électromagnétique) ou encore par dilution (jaugeage au sel). Les sources qui n'ont pas pu être jaugées présentaient des configurations spécifiques rendant difficiles l'application d'une des trois méthodes à disposition. Ainsi, la multiplicité des griffons, la présence trop abondante de la végétation, un débit trop faible, le caractère diffus d'une source ou encore l'aménagement inadapté de la source ont été les facteurs limitant le nombre de jaugeages effectués lors des missions de terrain. Une comparaison des méthodes de jaugeage effectuée sur plusieurs sites a montré la nécessité de multiplier les mesures afin d'améliorer la qualité de la donnée de débit, mais aussi l'obligation de garder un œil critique sur la validité des données en l'absence d'informations quant à la méthode et le matériel utilisés ou quant à la configuration du site et l'emplacement précis de la mesure.

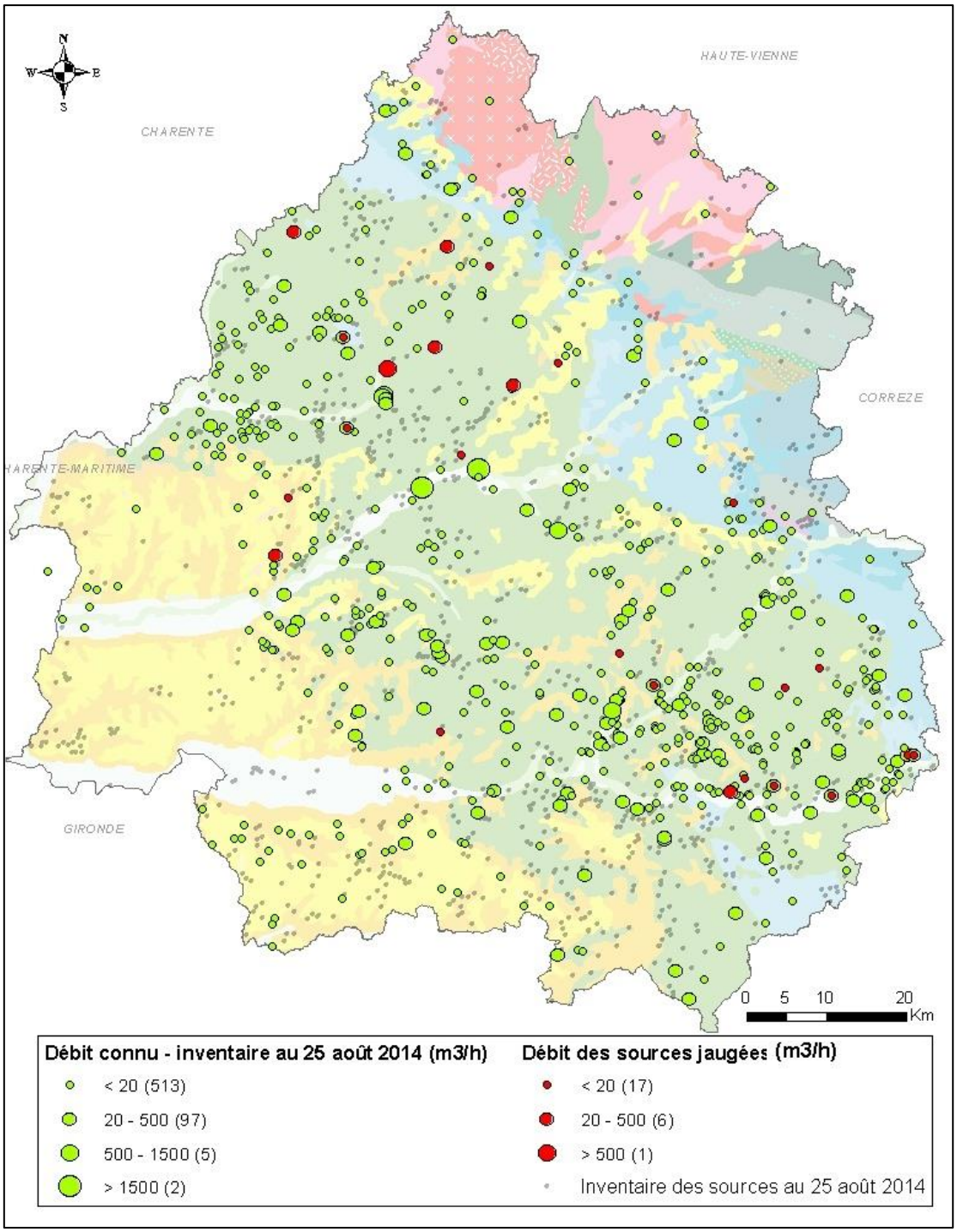


Illustration 19 : Carte de répartition des jaugeages recensés sur Infoterre (ronds verts) et des jaugeages effectués entre mai et juin 2014 (ronds rouges), en fonction du débit mesuré (Stöckle, 2014)

4.2.2. Chroniques continues de débits

Au cours des 2 premières années du projet, les suivis continus de 7 sources avaient été récupérés (Cabaret *et al.,* 2014), avec des qualités de données variables, et des fiches descriptives avaient été établies. La récupération de ces informations a été poursuivie permettant de disposer de chroniques davantage étoffées. Nous rappelons cependant que si

certaines de ces sources disposent d'une station de jaugeage avec une section propre et entretenue (Le Toulon et Falgueyret), d'autres ont un système de mesure mais ne font pas l'objet d'une surveillance et d'un entretien particuliers (LeyFonts et les Michauds). On notera que le débitmètre de la source des Michauds est tombé en panne en septembre 2013 et n'a pas été remis en fonctionnement depuis. Il devrait l'être en septembre 2015 par l'exploitant.

Trois de ces 7 sources (la Glane, les Moulineaux et le Toulon) sont équipées d'un enregistreur de niveau pour lequel il est nécessaire d'établir une courbe de tarage (relation hauteur/débit). A partir de 2014, le jaugeage de ces sources a été intégré dans la campagne de mesures de la DREAL Aquitaine.

Les sources du **Toulon** à Périgueux sont constituées de 2 émergences principales : l'Abîme (07588X0009/ABIME) et le Cluzeau (7588X0008/SOURCE). La station de jaugeage permet de mesurer au travers d'un canal rectangulaire le débit cumulé des deux sources (Illustration 20). Depuis 2010, le BRGM dispose de mesure de niveau d'eau pour lequel une courbe de tarage est en cours de réalisation. Celle-ci s'appuie sur les données historiques effectuées entre août 2009 et février 2010 (7 mesures) et sur 4 mesures supplémentaires réalisées en depuis 2014. Les 11 mesures disponibles au total montrent que la gamme de hauteurs investiguée est large. Parmi les hauteurs enregistrées par le capteur, les valeurs extrêmes de 66 cm et 40 cm n'ont pas fait l'objet de correspondance de débit.

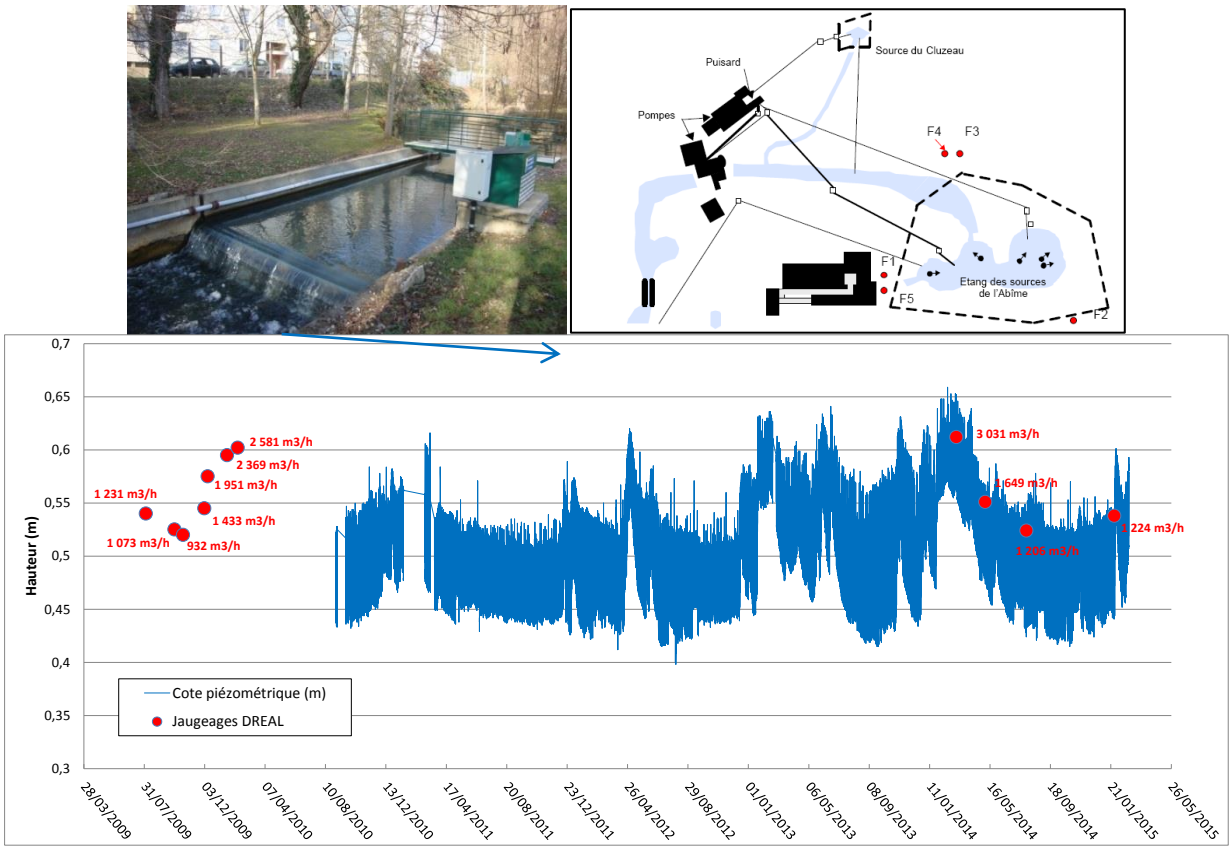


Illustration 20 : Emplacement de la station de jaugeage de la source du Toulon - Chronique piézométrique (enregistreur BRGM) et positionnement des jaugeages réalisés par la DREAL. Les variations importantes de piézométrie sont liées aux pompages (enregistrements horaires)

La source de la **Glane** à Saint-Jory-Las-Bloux (07593X0004/HY) donne naissance à un ruisseau qui s'écoule en direction de l'Isle. Elle correspond à une résurgence des eaux de la

nappe du Bathonien et s'écoule des chenaux karstiques creusés dans les calcaires. Autour de la résurgence, un bâtiment est érigé dans lequel le BRGM a mis en place un capteur de pression et de température mesurant ces paramètres au pas de temps horaire (Illustration 21). Durant cette 3ème année du projet, la DREAL Aquitaine a mis en place une échelle limnimétrique à environ 50 m de la source et a procédé à 4 opérations de jaugeages afin de réaliser une courbe de tarage (Illustration 22).

Illustration 21 : Station de la Glane (A - 17/10/2013 ; B - capteur dans le bâtiment ; C - 24/02/2015 ; D - échelle limnimétrique)

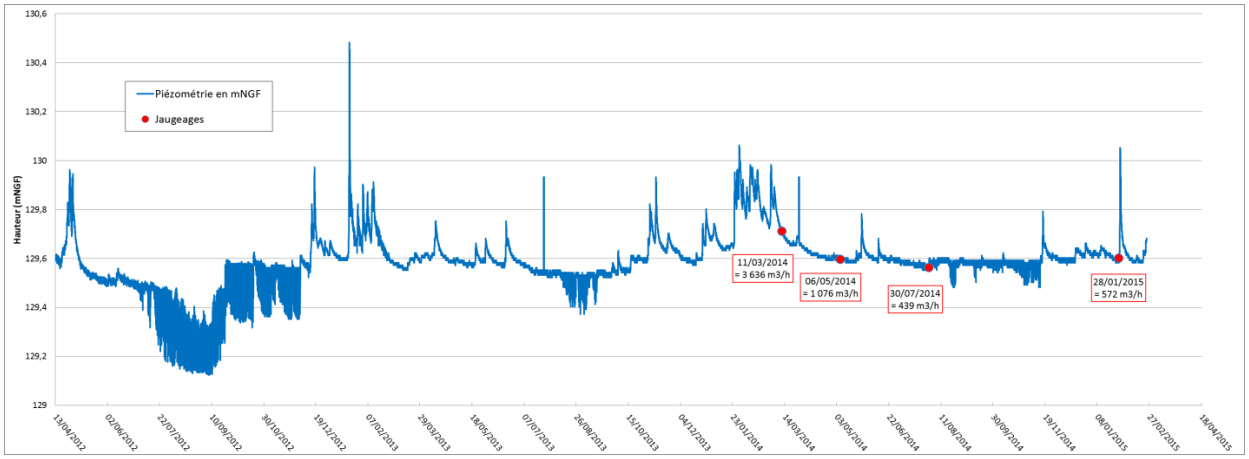


Illustration 22 : Chronique piézométrique de la source de la Glane (enregistreur BRGM) et positionnement des jaugeages réalisés par la DREAL. Chronique peu influencée par les pompages car seules les mesures enregistrées à minuit sont reportées

La source des **Moulineaux** à Razac-sur-l'Isle (07823X0004/HY) émerge dans une vasque puis l'eau s'écoule au niveau de deux déversoirs pour rejoindre, une vingtaine de mètre plus loin, le cours d'eau de l'Isle (Illustration 23). Les 5 jaugeages réalisés depuis 2014 ne permettent pas encore d'établir une courbe de tarage fiable. Les hauteurs d'eau extrêmes restent encore à investiguer. On notera ici que le pic du 20 janvier 2013 est probablement une erreur de mesure liée à un épisode extrême.

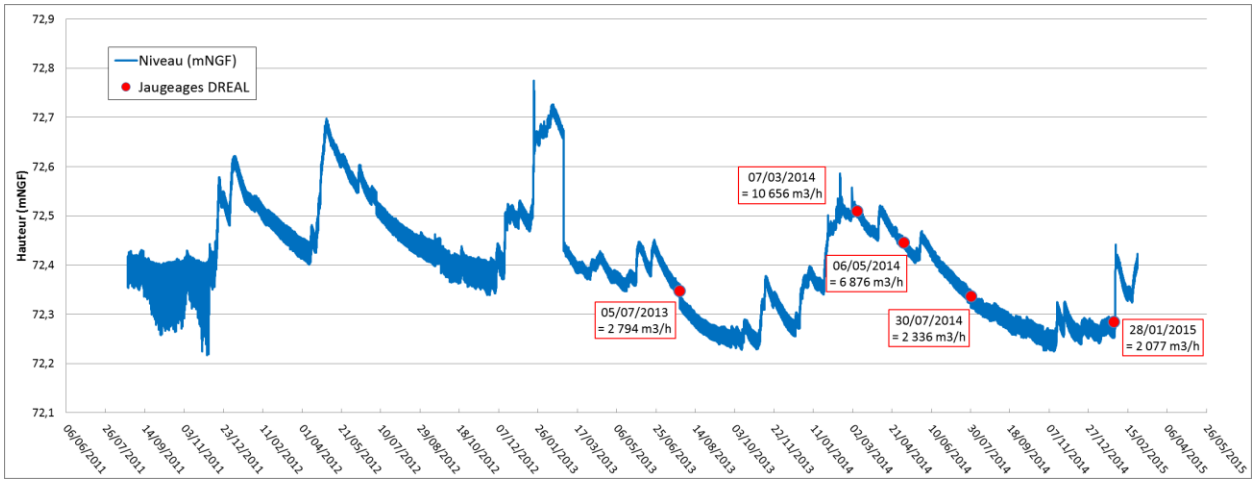


Illustration 23 : Déversoirs de la source des Moulineaux – Chronique piézométrique (enregistreur BRGM) et positionnement des jaugeages réalisés par la DREAL. Chronique peu influencée par les pompages car seules les mesures enregistrées à minuit sont reportées

Les opérations de jaugeages seront poursuivies en année 4 en ciblant les hauteurs manquantes sur la base des chroniques disponibles. Les débits extrêmes, lors d'une crue ou en étiage, devront être mesurés.

4.3. ACQUISITION DE DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES

4.3.1. Mesures de terrain

Les précédentes années du projet avaient mis en avant la nécessité d'acquérir davantage de données physico-chimiques pour appuyer les interprétations futures et la représentativité des résultats. Dans le cadre de l'année 3, une campagne de mesures a été menée en ce sens.

Il s'agissait d'une part de réaliser des mesures courantes *in situ* (température, pH, conductivité, O_2 dissous, potentiel d'oxydo-réduction et alcalinité) sur des sources ne faisant pas partie d'un réseau de suivi et donc disposant de peu de données. Au total 66 mesures ont été effectuées sur 46 sources entre avril et juin 2014.

D'autre part, le laboratoire I2M (Université de Bordeaux) a mis à disposition son appareil de chromatographie ionique permettant de mesurer les cations (lithium, sodium, ammonium, potassium, magnésium et calcium) et des anions (fluorure, chlorure, nitrite, sulfate, nitrate et phosphate). Cette mesure nécessite donc des prélèvements, un conditionnement et une analyse en laboratoire. Cette procédure plus longue impose donc d'orienter la campagne de prélèvements de la façon suivante :

- Les sources crétacées disposant de 3 à 4 mesures sur la période 2000-2013 sont prélevées de sorte à porter à 5 le nombre de mesures (statistiquement, la médiane est représentative d'un point dès qu'elle est calculée sur 5 observations choisies au hasard (Cabaret *et al*., 2014)),
- Les sources jurassiques ont été systématiquement prélevées car en proportion elles sont moins représentées à l'échelle de la Dordogne.

Plusieurs difficultés liées aux problèmes de géolocalisation ou de conditions d'accès aux sources ont empêché les prélèvements prévus. D'autres points ont alors été ajoutés.

L'illustration 24 présente le nombre de sources prélevées en fonction de l'entité (Crétacé ou Jurassique), mais aussi en fonction du nombre de mesures de la concentration en ions majeurs connus sur ces points. 29 sources (11 jurassiques et 18 crétacées) ont été prélevées (Illustration 25 et annexe 4). Les sources crétacées sont davantage représentées que celles jurassiques du fait d'une couverture des formations crétacées à l'affleurement plus importante.

	Crétacé				Jurassique	
Nombre de prélèvements connus avant le stage	0	1	3 à 4	5	0	2 à 10
Nombre de sources prélevées au cours du stage	1	2	11	4	4	7

Illustration 24 : Nombre de sources prélevées en fonction du nombre de mesures connues (Stöckle, 2014)

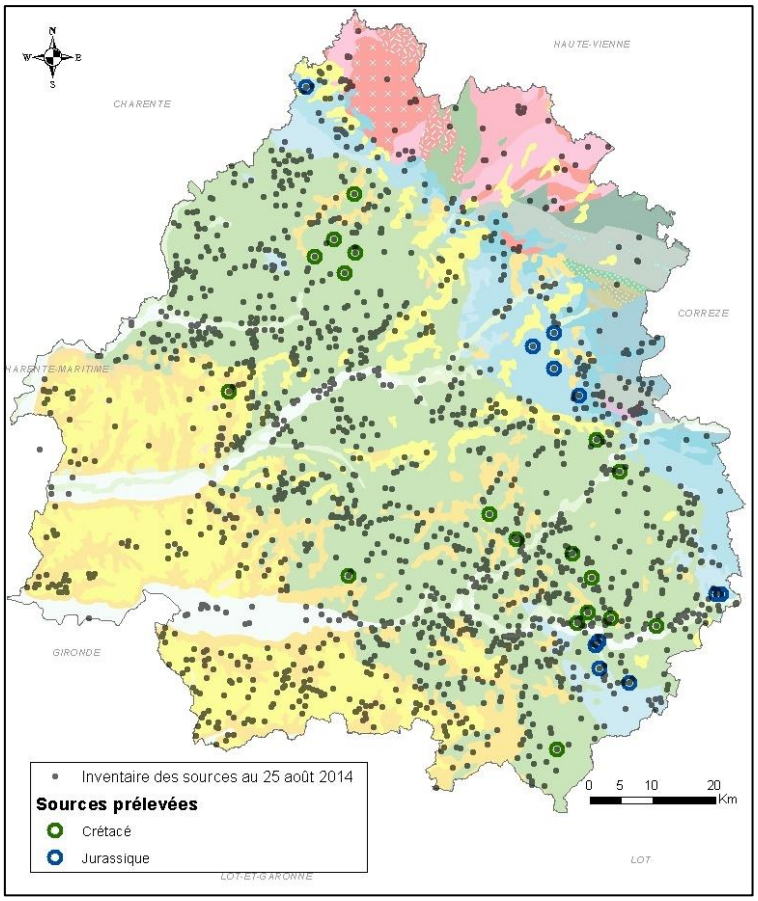


Illustration 25 : Carte de répartition des prélèvements (Stöckle, 2014)

4.3.2. Poursuite des interprétations physico-chimiques

Au cours de la deuxième année du projet (Cabaret et al., 2014), une étude spécifique sur la spatialisation de la Pco_{2_sat} des eaux et des émergences avait été menée sur quelques aquifères du Crétacé. Une tendance générale à la diminution de la Pco_{2_sat} du nord-est vers le sud-est avait été observée sur l'ensemble des réservoirs étudiés. Cette diminution pourrait trouver son origine dans le temps de parcours de l'eau depuis sa zone d'infiltration et dans les conditions d'écoulements dans le système. La réalisation de mesures complémentaires notamment dans le réservoir jurassique au cours de la troisième année du projet était l'occasion de proposer une carte inédite de la répartition de la Pco_{2_sat} dans le réservoir jurassique du Bathonien-Callovo-Oxfordien afin de compléter les résultats de l'année précédente.

À l'image des cartes obtenues sur le réservoir du Crétacé (Cabaret et al., 2014 ; Stöckle, 2014), les résultats pour le réservoir du Bathonien-Callovo-Oxfordien montrent une diminution de la Pco_{2_sat} médiane du nord-est au sud-ouest (Illustration 26). En théorie (d'après la formule de calcul de la Pco_{2_sat}), plus la température d'une eau est élevée, plus la Pco_{2_sat} de cette eau (possédant toujours la même chimie) est importante (Minvielle et al., 2014). Cependant, et bien que les mesures soient obtenues à proximité des affleurements, les cartes montrent que si les eaux les plus chaudes sont repérées au sud et à l'ouest du département, ces points ne correspondent pourtant pas aux valeurs de Pco_{2_sat} les plus élevées. Ces représentations cartographiques montrent ainsi que l'augmentation de la Pco_{2_sat} n'est pas corrélée avec l'évolution spatiale de la température. Les formations crétacées et jurassiques de Dordogne plongent du Nord-est au Sud-ouest. Le degré de captivité, le temps de parcours de l'eau dans le système et, par extension, la profondeur de l'aquifère pourraient donc avoir un lien avec l'évolution spatiale de ces paramètres.

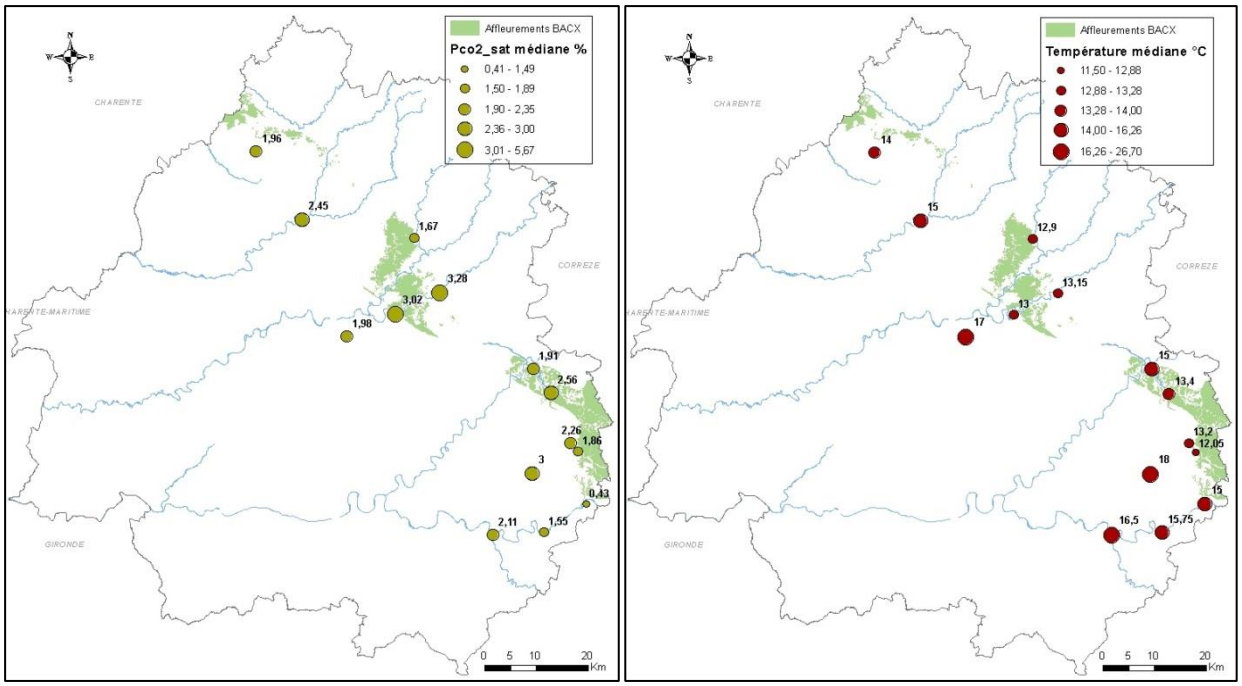


Illustration 26 : Cartes de répartition de la Pco_{2_sat} médiane et de la température médiane du réservoir du Bathonien-Callovo-Oxfordien

4.4. SYNTHESE ET CONCLUSION

Les travaux menés en troisième année du projet ont permis l'inventaire de 141 sources supplémentaires en Dordogne. Il sera complété à mesure des retours des 81 mairies devant encore répondre à l'enquête.

La connaissance sur les débits des sources a également progressé d'une part grâce à la collecte et la mise en forme numérique des données historiques permettant d'attribuer à 617 sources au moins une valeur de débit avec une date de mesure associée, soit 37 % des sources répertoriées. D'autre part, des mesures de terrain sur 24 sources ont complété cet inventaire en permettant de valider les ordres de grandeur des données historiques et d'attribuer une ou plusieurs méthode(s) de jaugeage facilitant les campagnes de mesures futures.

De nouvelles données physico-chimiques ont également pu être apportées au travers d'une campagne spécifique permettant de réaliser 66 mesures *in situ* de température, conductivité ou encore de pH sur 46 sources. En parallèle, des prélèvements ont été effectuées sur 11 sources jurassiques et 18 sources crétacées afin d'enrichir la base de données et de valider les travaux précédents d'analyse de la répartition des pCO_{2_sat} sur les réservoirs de Dordogne et notamment ceux du Jurassique.

Ces nouvelles données collectées posent les bases de travaux d'acquisitions futurs qui devront notamment porter sur :

- une campagne en hautes eaux et en très basses eaux qui permettra de compléter les informations obtenues et d'illustrer les variations hydrodynamiques et hydrogéochimiques des sources au cours d'un cycle hydrologique ;
- un complément de mesures sur les ouvrages jurassiques, actuellement moins bien représentés dans la base de données.

5. Typologies du karst affleurant, en lien avec les modalités d'infiltration et la vulnérabilité des bassins d'alimentation

Au cours du projet, un lien entre la densité des dolines présentes dans les bassins d'alimentation et la variabilité temporelle des concentrations en NO_3^- mesurées aux sources drainant ces bassins avait pu être établi (Cabaret et *al.*, 2014). En outre la cartographie de la vulnérabilité des ressources en eau souterraine est un sujet de débat récurrent entre l'administration et les chambres d'agriculture (COPIL juin-2014).

L'approche privilégiée pour cartographier la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique est la méthode PaPRIKa (rapport BRGM RP-57527-FR) qui est une méthode multicritères prenant en compte les spécificités du karst et qui permet de réaliser des cartes de vulnérabilité intrinsèque soit pour le cas de pollutions accidentelles (périmètres de protection de captages) soit pour le cas de pollutions diffuses. Cette approche nécessite toutefois la cartographie de plusieurs critères tels que les conditions d'infiltration, la couche protectrice en surface (sol, épikarst, état des surface, propriétés de la zone non saturée), la nature du réservoir ou encore le degré de karstification).

Pour aborder de manière pragmatique la vulnérabilité des captages aux pollutions agricoles diffuses, il semble intéressant de se focaliser sur les flux (d'eau et de contaminants) qui atteignent la nappe depuis la surface du sol : les secteurs pour lesquels les flux sont plus faibles sont moins vulnérables que les secteurs à flux plus forts et vice-versa. En effet, dans le cas de pollutions diffuses, la notion de vitesse de transit dans la zone saturée importe peu (sauf si de la dégradation opère, mais dans ce cas il s'agit de vulnérabilité spécifique au contaminant qui se dégrade), mais il importe de se focaliser sur le fonctionnement de la zone d'infiltration, et notamment sur la répartition spatiale de la recharge.

Sur cette base, il est apparu judicieux d'investiguer par une approche exploratoire les flux d'infiltration (i.e., la recharge) sur deux bassins d'alimentation représentatifs du département de la Dordogne. La caractérisation de ces flux nécessite de compléter ou de reprendre en partie les éléments de cartographie des critères P (couverture protectrice) et I (conditions d'infiltration) de la méthode PaPRIKa.

5.1. METHODOLOGIE

La méthodologie mise en œuvre est dérivée d'une approche développée pour la cartographie de la susceptibilité à l'effondrement lié à la présence de karst et les cartes d'aléa pouvant découler de ce risque gravitaire (Perrin et al., 2014). En effet le principal processus amenant à la mise en mouvement des terrains est le phénomène de suffosion/soutirage qui implique un flux descendant d'eau et de particules en direction de la nappe. Des typologies de karst sont définies pour lesquelles les processus d'infiltration diffèrent : trois typologies de karst sont définies à l'échelle du bassin d'alimentation sur la base de la cartographie géologique à 1/50 000 : le karst nu, le karst sous couverture peu perméable et le karst sous couverture perméable. Il est également possible que certains secteurs soient considérés non karstiques.

Ensuite il s'agit de localiser les karsts de contact en croisant la typologie des karsts avec le MNT (IGN, pas de 25 m). Un karst de contact est défini par deux conditions :

- il se situe au contact entre le karst nu et un karst sous couverture peu perméable ou une zone non karstique peu perméable,
- le karst nu doit être en aval de la zone peu perméable.

L'approche pour la cartographie du karst de contact mise en œuvre sous ArcGIS est la suivante :

1) ***reclassification*** de la carte géologique homogénéisée à 1/50 000 éditée en année 2 du projet (Cabaret et al., 2014) en karst nu, karst sous couverture perméable, karst sous couverture peu perméable, non karstique à un pas de 50 m (taille convenable pour prendre en compte les imprécisions de la carte géologique) ou 25 m pour rester sur la même résolution que le MNT ;
2) ***statistiques focales*** permettant de faire sortir les liserés correspondant à la condition karst nu au contact d'une formation peu perméable ;
3) calcul de la ***Direction euclidienne*** pour le secteur correspondant au liseré (karst de contact potentiel) et à la formation peu perméable ;
4) calcul de la ***Direction de flux*** à partir du MNT 25 m ;
5) ***ré-échantillonnage*** de la direction de flux à un pas de 50 m compatible avec la typologie des karsts ;
6) calcul de la ***Différence*** entre direction euclidienne et direction de flux : si les deux directions sont orientées à +/-30° l'une de l'autre, la condition amont-aval est respectée et le karst de contact est mis en évidence ;
7) à partir du résultat de statistiques focales, ***extraire les lignes*** (Polylignes) correspondant au karst de contact potentiel et faire un tri sur la longueur pour éliminer les lignes de moins de 250 m de long ;
8) créer ***un tampon*** de 200 m autour des lignes et croiser les polygones ainsi créés avec le raster différence ➔ les zones à l'intérieur du tampon ayant les critères de direction adéquats (+/-30°) sont cartographiés en karst de contact.

Les étapes 7 et 8 peuvent aussi être réalisées en créant un tampon sur le raster avec l'outil Allocation Euclidienne.

A titre d'exemple, une cartographie de la typologie des karsts a été réalisée sur deux bassins d'alimentation de sources. Le choix s'est fait selon trois critères :

- existence d'une délimitation du bassin d'alimentation type PPE,
- des sources pour lesquelles la taille du bassin d'alimentation est suffisante afin de réaliser les traitements statistiques (représentativité),
- des sources identifiées dans le précédent rapport comme ayant des densités de dolines et des variations temporelles de concentrations en nitrates contrastées.

Les résultats de la cartographie des typologies de karst sont confrontés aux informations sur les modalités d'infiltration (présence de dolines et de pertes) et aux données hydrodynamiques (débits) et chimiques (nitrates).

5.2. BASSIN D'ALIMENTATION DE LA SOURCE DE LA GLANE

Le bassin d'alimentation est défini sur les limites du PPE (Sourisseau, 1991) et correspond à une superficie de 76 km^2. Quatre typologies de karst sont représentées avec des superficies respectives variables (Illustration 27 et Illustration 28) :

- karst nu (calcaires du Jurassique : Bajocien, Bathonien, Callovien, Oxfordien et localement calcaires Crétacé : Cénomanien & Turonien) est le plus représenté (41 km^2) ;
- karst sous couverture peu perméable (sable et argile du Rupélien et colluvions de versant dans le secteur ouest, calcaires argileux Crétacé localement, marnes grises du Jurassique inférieur à l'est) couvre 28 km² ;
- karst de contact essentiellement entre colluvions de versant et calcaires du Jurassique sur 4,7 km² ;
- karst sous couverture perméable (alluvions de la vallée de l'Isle à l'est et sables du Jurassique inférieur dans le secteur nord-est du bassin) est le moins représenté (3,2 km²).

	Source de la Glâne		Source de Fontgauffier	
	surface [km^2]	surface [%]	surface [km^2]	surface [%]
karst nu	40.5	53%	12.2	18%
karst s/couverture perméable	3.2	4%	10.9	17%
karst s/couverture peu perméable	27.6	36%	32.6	49%
karst de contact	4.7	6%	10.2	15%

Illustration 27 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des bassins d'alimentation des sources analysées

Sur l'Illustration 28, on note la concentration des pertes, des dolines (Lorette, 2013) et des zones en dépression calculées à partir du MNT à pas de 25 m dans les secteurs en karst de contact voire en amont dans les secteurs en karst sous couverture peu perméable. Cette concordance illustre le rôle de la typologie des karsts sur les conditions d'infiltration :

- infiltration concentrée dans les karsts de contact et dans certains secteurs du karst sous couverture peu perméable (secteurs où l'épaisseur de la couverture est réduite ?),
- infiltration diffuse en contexte de karst nu et karst sous couverture perméable.

Traduit en termes de vulnérabilité aux pollutions diffuses, les secteurs à infiltration concentrée sont plus sensibles puisque l'eau infiltrée peut court-circuiter le système de stockage temporaire sol-épikarst pour rejoindre directement le réseau de conduits à forte perméabilité.

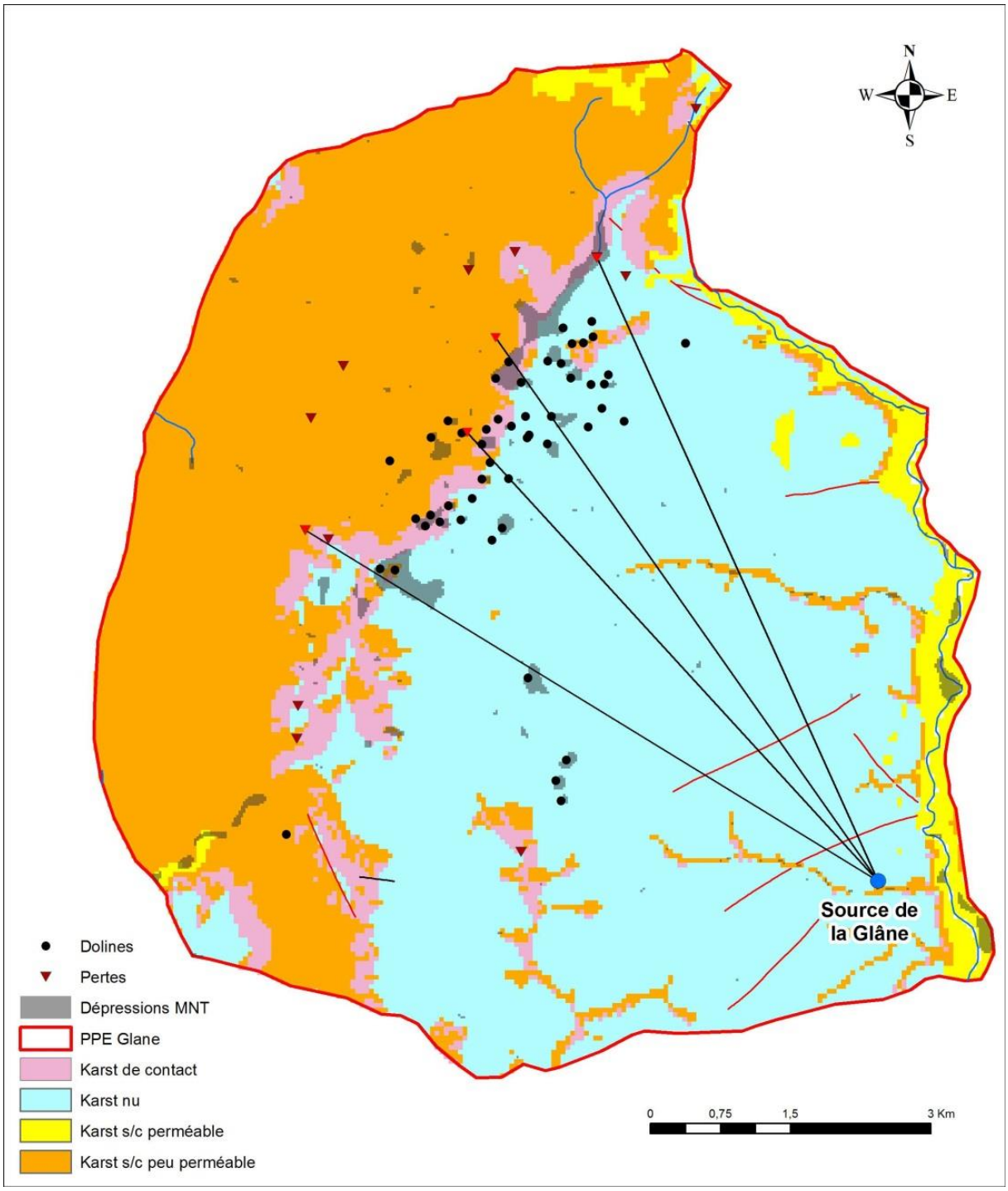


Illustration 28 : Carte des typologies de karst pour le bassin d'alimentation (PPE) de la source de la Glâne

5.3. BASSIN D'ALIMENTATION DE LA SOURCE DE FONGAUFFIER

Le bassin d'alimentation est défini sur les limites du PPE (SIAEP_BELVES, 2004) et correspond à une superficie de 66 km^2. Les quatre typologies de karst sont représentées (illustration 27 et illustration 29 :

- karst sous couverture peu perméable (altérites sur calcaire crétacé constitué d'argile verte à silex, formations de versants : grèzes et colluvions, marno-calcaires du Campanien[1]) est le plus représenté (32,6 km²) ;
- karst nu (calcaires du Campanien et calcaires crayeux du Santonien et localement au sud-est calcaires du Jurassique supérieur, à l'est de la faille de l'Illustration 29) couvre 12 km² ;
- karst sous couverture perméable (alluvions récentes des fonds de vallée et les graviers et sable de l'Eocène, fm de Guizengeard) couvre 11 km²;
- karst de contact essentiellement entre altérites et calcaires du Crétacé couvre 10 km².

L'Illustration 29 représente la répartition des typologies du karst à l'échelle du bassin d'alimentation de la source. On remarque que les seules dolines répertoriées sont à l'extrémité sud-est du bassin voire hors du bassin d'alimentation. Elles sont toutes dans le compartiment est de la faille et se développent donc dans un substratum de calcaires du Jurassique. Aucune perte n'est inventoriée dans le bassin d'alimentation et le MNT de résolution 25 m n'indique des zones endoréiques que dans les fonds de vallées (pas de bassins fermés potentiellement d'origine karstique détectés). Au contraire, de nombreuses sources (21) se trouvent dans le bassin d'alimentation et pour certaines directement en aval du karst de contact cartographié. On remarque également que le réseau hydrographique est bien développé ce qui est un indice de la nature plutôt ruisselante des surfaces au sein du bassin d'alimentation.

Ces différents indices (absence de dolines et pertes, présence de sources, réseau hydrographique) montrent qu'il faut certainement nuancer les secteurs cartographiés en karst de contact comme étant peu actif ou inactif (pas d'infiltration préférentielle dans ces secteurs car la géologie et/ou la topographie ne sont pas favorables).

Des pertes sont toutefois décrites par SHE (SIAEP_BELVÈS, 2004) dans le lit du cours d'eau La Vallée au SE de la source. Un essai de traçage d'une de ces pertes a toutefois donné un résultat négatif.

[1] Fm de Coursac (Cpn3) décrites comme marno-calcaire argilo-crayeux et calcaires marneux (Cpn2) décrits dans notice explicative de la carte géologique comme une formation peu perméable (notice carte 831). Les secteurs où ces deux formations sont cartographiées sont considérés comme des karsts sous couverture peu perméable.

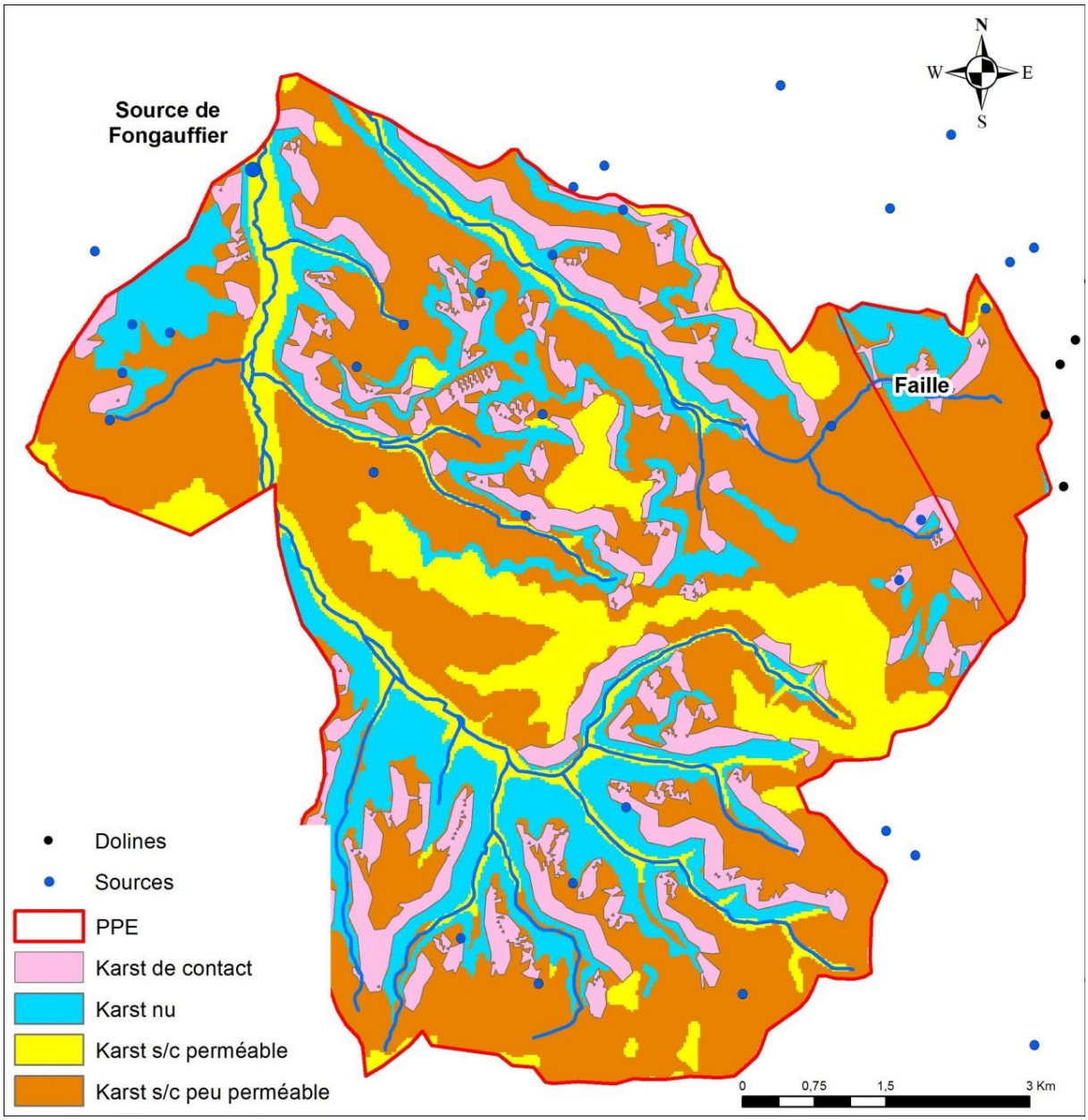


Illustration 29 : Carte des typologies de karst pour le bassin d'alimentation (PPE) de la source de Fongauffier

5.4. DISCUSSION

Si l'on compare l'évolution temporelle des concentrations en nitrates des deux sources (Illustration 30), on voit d'une part que la concentration moyenne est bien plus basse à Fongauffier (7 mg/L) qu'à la Glâne (20 mg/L), et d'autre part que la variabilité temporelle est plus marquée à la Glâne. Ces différences de comportement ne peuvent cependant pas être utilisées pour confirmer le degré de vulnérabilité des deux bassins d'alimentation ; pour cela il faudrait que les intrants en nitrates soient similaires sur les deux bassins (ce qui n'est certainement pas le cas) et que les nitrates se comportent comme un traceur conservatif.

Un indicateur plus robuste serait le **débit spécifique** des sources (débit moyen divisé par la surface du bassin d'alimentation) qui représente l'infiltration moyenne au sein d'un bassin : un bassin ayant une infiltration plus importante sera à priori plus vulnérable aux contaminations diffuses puisque les flux d'eau et de contaminant seront plus élevés. Cela suppose que la délimitation des bassins d'alimentation soit bien connue et que la pluie efficace soit comparable entre chacun des bassins. Les débits sont relativement mal connus pour les deux sources avec 5 mesures pour la Glâne et 2 mesures pour Fontgauffier. En prenant les valeurs moyennes, on obtient un débit spécifique de 6,5 L/s/km^2 pour la Glâne et de 1.5 L/s/km^2 pour Fongauffier et 3.3 L/s/km^2 en prenant en plus le débit de la source de Sagelat (SIAEP_BELVÈS, 2004). Ces premières estimations semblent donc indiquer une capacité d'infiltration bien plus importante pour le système de la Glâne en adéquation avec la cartographie des typologies de karst et la présence de dolines et pertes.

La **variabilité temporelle** des concentrations en nitrates est essentiellement déterminée par l'hydrodynamique du système karstique : un système très fonctionnel (réponse rapide aux évènements de recharge) présentera de fortes variabilités des concentrations (dilutions et/ou mobilisation rapides et brèves) au contraire d'un système à l'hydrodynamique plus tamponnée qui présentera des concentrations plus stables au cours du temps.

Du point de vue de l'infiltration, la présence de karst de contact et de pertes contribuera à des réponses hydrodynamiques rapides, le karst nu à des réponses modérées (en fonction du degré de développement de l'épikarst), le karst sous couverture perméable à des réponses lentes, et finalement le karst sous couverture peu perméable à des réponses très tamponnées.

Ces modes de fonctionnement de la recharge sont bien reproduits par les deux sources étudiées avec pour la Glâne 59% de la superficie du bassin d'alimentation avec des flux d'infiltration modéré à rapide (et certainement plus car les bassins versants de pertes et dolines en contexte de karst sous couverture peu perméable n'ont pas été pris en compte) alors que pour Fongauffier cette superficie ne représente que 33% du bassin (et certainement moins car le karst de contact semble peu fonctionnel vu l'absence de pertes et dolines).

En complément du fonctionnement de la recharge, la nature du réservoir aquifère peut également contribuer à moduler la réponse temporelle hydraulique et chimique à la source. Cet aspect est pris en compte dans la méthode PaPRIKa par les critères R (nature de la roche réservoir) et Ka (degré de karstification).

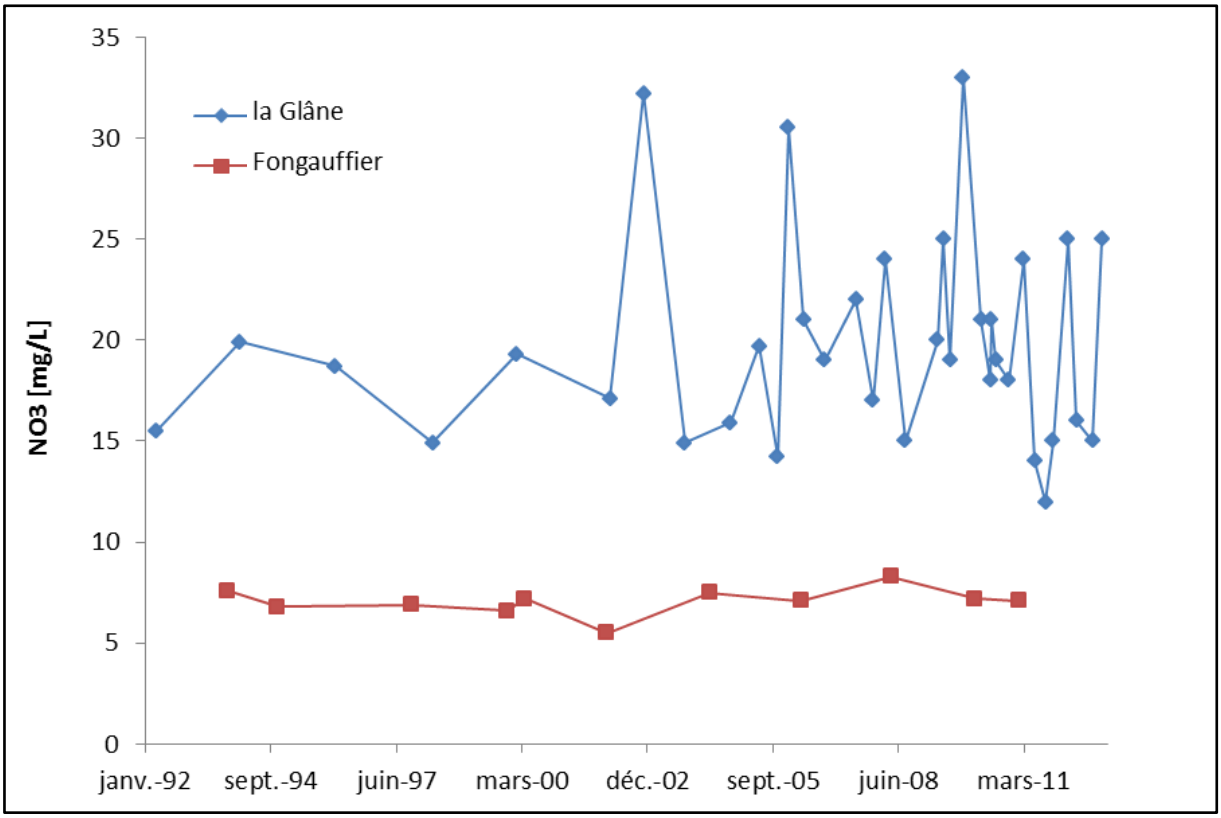


Illustration 30 : Evolution des concentrations en nitrates pour les deux sources étudiées

5.5. PERSPECTIVES

En principe, l'infiltration (et donc la vulnérabilité aux pollutions diffuses et/ou accidentelles) sera forte au niveau des karsts de contact et en amont dans le bassin versant des pertes, modérée dans les karsts nu et en fonction du développement de l'épikarst, faible dans le cas de karst sous couverture perméable et très faible dans le cas de karst sous couverture peu perméable. La cartographie des typologies de karst pourrait en principe permettre de délimiter les secteurs du bassin d'alimentation les plus vulnérables.

Dans le cas de la source de la Glâne, on remarque que la présence d'un karst de contact actif et de pertes et dolines dans ces secteurs sont autant de conditions qui exacerbent la vulnérabilité intrinsèque. La concentration moyenne en nitrates relativement élevée en est un premier indice.

La cartographie de la typologie des karsts croisée avec l'inventaire des sources, dolines et pertes semble une approche prometteuse pour approcher la vulnérabilité intrinsèque ou en tout cas les conditions d'infiltration ; cette cartographie peut également éclairer sur le degré de fonctionnalité des systèmes, cependant le fonctionnement des réservoirs va venir compliquer l'image finale.

Un des intérêts d'une telle cartographie est qu'elle peut être mise en œuvre à différentes échelles (du bassin d'alimentation à l'échelle départementale) et pourrait donc servir d'outil d'aide à la décision pour cibler des zones prioritaires (par exemple à priori plus vulnérables) où des mesures/réglementations pourraient être privilégiées.

6. Conclusion

Le module 4 de la convention régionale 2008-2013 vise à améliorer l'état des connaissances des karsts aquitains en étudiant les karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne.

La compréhension du fonctionnement des aquifères carbonatés de manière générale et plus spécifiquement leur fonctionnalité karstique nécessite une approche pluridisciplinaire qui repose sur la conjonction de plusieurs méthodes pour mettre en évidence l'existence d'un comportement et d'une structure karstique. Ces différentes méthodes nécessitent de nombreuses données ayant trait à la géomorphologie, à la géologie, à l'hydrogéologie ou encore à la géochimie (Dorfliger et al., 2010).

Depuis trois ans, un important travail de collecte des données géologiques et hydrogéologiques est mené (Illustration 31).

	Donnée/information		Objectif	Résultats année 1	Résultats année 2	Résultats année 3
Volet géologique	Aspects géomorphologiques	inventaire formes karstiques en surface	fonctionnement karstique, histoire karstification		inventaire des dolines (terrain et bibliographie)	cartographie des modalités d'infiltration au sein de bassins d'alimentation
		inventaire formes karstiques en profondeur			répartition spatiale des conduits karstifiés	
		MNT 25 m	paléosurface, histoire karstification		traitement SIG effectué	
	Aspects géologiques sensu stricto	carte géologique	contexte, zones karstifiables	harmonisation de la carte géologique	cartographie de la couverture	
		logs géologiques			logs régionaux de référence	
	Aspects paléo-environnementaux	cartes paléogéographiques, climatologie, eustatisme	histoire karstification		identification et compilation des cartes paléogéographiques disponibles	synthèse paléogéographique et structurale
	Aspects structuraux	cartes tectoniques (plis, fractures, failles, …)	plans de drainage potentiels, géométrie des aquifères		synthèse générale (bibliographie et relevés de fracturation)	ajouts et homogénéisation des structures tectoniques + synthèse
Volet hydrogéologique	Piézométrie		fonctionnement de l'aquifère	récupérée		
	Débits de source		fonctionnement de l'aquifère	récupération des suivis de 4 sources	1 source équipée + 2 autres suivis récupérés : lancement de jaugeages	inventaire des sources Compilation données de débits (bibliographie + terrain) Poursuite des courbes de tarage sur 3 sources (Moulineaux, Glane, Toulon)
	Météorologie		support d'analyse de chroniques	stations identifiées : récupération des données selon les besoins		
	Traçages artificiels		vitesses d'écoulement, fonctionnement	base de données constituée		cartographie des modalités d'infiltration au sein de bassins d'alimentation
	Bassins d'alimentation		caractérisation des aquifères (limites)	données récupérées		
	Pertes/bulides		fonctionnement karstique	partiellement récupérées	Analyse des bulides	poursuite inventaire bulides
	Datations		âge des eaux souterraines	partiellement récupérées		
	Physico-chimie		fonctionnement de l'aquifère	premières interprétations (faciès chimique, distribution spatiale, ACP, AFD, …)	Poursuite des interprétations (ACP, Diagrammes binaires, Variabilité temporelle, P_{CO_2})	acquisition ions majeurs + poursuite interprétation P_{CO_2}

Illustration 31 : Tableau synthétique des travaux réalisés au cours des 2 premières années du module

En géologie, la synthèse des données géologiques et paléogéographiques a permis, en appui du projet OKaNA (Husson, 2015) l'identification des trois phases majeures de karstification potentielle dans le nord du Bassin aquitain :

- le Crétacé inférieur,
- le Paléogène,
- du Miocène à l'actuel.

A ces phases de karstification majeure, de nombreuses émersions locales apparaissent à différentes périodes et semblent propices à une karstification qui serait toutefois moins intense et plus localisée.

En complément, l'impact de la tectonique dans la modification du niveau de base et le rôle de structures particulières telles que les récifs dans les écoulements souterrains sont abordés. Ce travail devra faire l'objet d'investigations complémentaires dans la suite du projet mais

permettra toutefois d'orienter les réflexions futures sur l'organisation et le fonctionnement des aquifères karstiques.

En hydrogéologie, les travaux passés avaient permis de dégager certaines tendances portant sur la signature chimique de différents ouvrages et l'intérêt de certains marqueurs, qu'ils soient d'origine anthropique ou non, dans l'étude du fonctionnement des aquifères carbonatés de Dordogne et de leur fonctionnalité karstique. Toutefois, ils devaient être validés par des mesures et analyses complémentaires. Dans cette perspective, les investigations de l'année 3 se sont focalisées sur l'inventaire des sources et de leurs caractéristiques de débit et de physico-chimie. La collecte de ces informations, primordiales pour la compréhension des réservoirs carbonatés, s'est appuyée sur un inventaire bibliographique, sur la reprise d'une enquête auprès des communes réalisée en 2005 (qui devra s'achever l'année prochaine) et sur un important travail de terrain. Cet inventaire pose les bases de travaux d'acquisition futurs qui permettront d'examiner les pistes de réflexion évoquées.

Au terme de cette année, le croisement des informations géologiques et hydrogéologiques obtenues dans le cadre du projet, et plus particulièrement la carte géologique, les indices géomorphologiques de surface et les mesures de débit et de chimie, permet de proposer, à l'échelle de deux bassins versants, une cartographie des typologies du karst affleurant. Cette cartographie permet de préciser les modalités d'infiltration, et ainsi d'apporter des informations sur la vulnérabilité de la ressource en eau. La méthodologie employée doit encore être validée mais les résultats prometteurs peuvent apporter une information supplémentaire sur le degré de fonctionnalité des systèmes.

7. Bibliographie

Astruc J.G. (1988) - Le paléokarst quercynois au Paléogène altérations et sédimentations associées. Documents du BRGM n°133, 163 p.

Bellegarde R., Chamayou J. (1971) - Evaluation des ressources en eau de la Dordogne. Rapport BRGM - 71 SGN 205 AQI, 157 p.

Cabaret O., Gutierrez T. et Perrin, J. (2012) - Connaissances des karsts aquitains - Étude des karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne - Module 4 - Année 3. Rapport final. BRGM/RP-61681-FR, 82 p., 45 fig., 6 ann.

Cabaret O., Gutierrez T., Perrin, J. avec la collaboration de Goubier J.B., Lorette G., Lastennet R., Minvielle S. (2014) - Connaissances des karsts aquitains - Étude des karsts libres et sous couverture du département de la Dordogne - Module 4 - Année 4. Rapport final. BRGM/RP-62902-FR, 131 p., 110 ill., 10 ann. sur 1 CD.

Capdeville J.P. (1987) - Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluvio-lacustres tertiaires du Nord du bassin aquitain entre Lot et Dordogne - Thèse Doctorat d'Etat ès-Sciences, Bordeaux III, 295 p - Document du BRGM n° 175 (1989).

Cubaynes R., Faure P., Hantzpergue P., Pélissié T. et Rey J. (1989) - Le Jurassique du Quercy : unités lithostratigraphiques, stratigraphie et organisation séquentielle, évolution sédimentaire. Géologie de la France, n° 3, p. 33-62.

Cubaynes R., Ruget C., Rey J., Bonnet L. et Brunel F. (1995) – Communautés de foraminifères benthiques et variations du niveau marin dans le Lias moyen du Bassin d'Aquitaine – Géobios MS 18 : 101-111.

Curnelle R. (1983) - Evolution structure-sédimentaire du Trias et de l'infra-Lias d'Aquitaine - BCREDP 7 (1983) - 0396-2687 / 83 / 0007-0069.

Curnelle R. et Dubois P. (1986) - Evolution mésozoïque des grands bassins sédimentaires français : bassins de Paris, d'Aquitaine et du Sud-Est. Bull. Soc. géol. Fr.(8) t.II, n° 4 p.529-546.

Delfaud J., Del Valle J. et Le Pochat G. (1980) - Le Bassin d'Aquitaine et sa marge pyrénéenne – Bull. centr. Reche. Explor. Prod. Elf Aquitaine - Mémoire 3 - 79-116 - 26ème congrés géologique international - ISBN 2-901026-08-7.

Dörfliger N., Crochet P., Guerin R., Jozja N., Marsaud B., Mondain P.H., Muet P. et Plagnes V. (2010) - Guide méthodologique. Les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure et du fonctionnement des systèmes karstiques et l'évaluation de leur ressource. BRGM/RP-58237-FR, 246 p., 82 illus., 5 ann.

Dubreuilh J. (1987) - Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluviatiles tertiaires du nord du Bassin d'Aquitaine. Passages aux formations palustres, lacustres et marines. Thèse Doctorat d'Etat ès-Sciences, Bordeaux III, 461 p., 79 fig., 9 tab., Documents du BRGM n°172 (1989).

Faugeras P. (1984) – Evolution de la plate-forme carbonatée Est-Aquitaine du Jurassique moyen en Périgord – Thèse université de Potiers.

Foucher N. (1986) – Geodynamique sédimentaire et évolution paléogéographique de la plate-forme NE Aquitaine au Jurassique moyen (Charente, Dordogne) – Thèse université de Potiers.

Hantzpergue P. (1979) - Biostratigraphie du Jurassique supérieur nord-aquitain. Bull. Soc. Géol. France, (7), t. XXI, n°6, p. 715-725.

Hantzpergue P. (1988) – Les Plates formes récifales du Jurassique nord-Aquitain – Groupe Français d'étude du Jurassique – Université de Poitiers.

Hantzpergue P., Mudry J. et Rouiller D. (1988) – Rôle de la tectonique dans la structuration du karst de la Rochefoucault (Charente). Publication dans 4ème colloque d'hydrologie en pays calcaire et en milieu fissuré – Besançon 29-30 septembre – 1er octobre – Tectonique au Jurassique, au Crétacé inférieur et au Tertiaire.

Husson E. avec la collaboration de Gutierrez T., Camus H., Astruc J.G., Cabaret O., Galaup S. et Couëffé R. (2015) – Origine, caractérisation et distribution prédictive du Karst sur la bordure Nord-Aquitaine. Synthèse bibliographique & rapport d'avancement. Rapport intermédiaire BRGM/RP-65041-FR, 152 pp.

Lastennet R. et Mudry J. (1997) - Role of karstification and rainfall in the behavior of a heterogeneous karst system. Environmental Geology, Vol. 32 (2), pp. 114-123.

Lorette G. (2013) - Géomorphologie karstique en Dordogne. Rapport de Master 1, Université d'Avignon, 65 p.

Marchet P. (1991) - Approche de la structure et de l'évolution des systèmes aquifères karstiques par l'analyse de leur fonctionnement - Application au NW du Causse de Martel (Quercy, France). Thèse de doctorat : Université de Toulouse, 327 p.

Mauroux B., P. Platel J., Baudry D., P. Olivier J., Bergeronneau S., Marsac-Bernède M.J. (2003) - Synthèse hydrogéologique du département de la Dordogne. Potentialités, qualité, vulnérabilité des nappes d'eaux souterraines. Rapport BRGM/RP-52259-FR, 139p., dont 7 coupes, 85 cartes, 10 cartes annexes et 19 tab.

Minvielle S., Lastennet R. et Denis A. (2014) - Analyse de la spatialisation de la Pco2_sat des eaux des réservoirs du Turonien, du Coniacien-Santonien, et du Campanien, sur le territoire de la Dordogne. Note de l'Université de Bordeaux 1, 12 p.

Mudry J. et Blavoux B. (1986) - Utilisation de l'analyse en composantes principales pour l'étude du fonctionnement hydrocinématique de trois aquifères karstiques du Sud-Est de la France. Hydrogéologie, Vol. 1, pp. 53-59.

Pélissié T. (1982) - Le Causse jurassique de Limogne-en-Quercy : stratigraphie, sédimentologie, structure. Thèse Doctorat 3e cycle, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 281 p.

Perrin J., Noury G., Cartannaz C., Gutierrez T., Laere A. Van (2014) - ALEA-Karst : vers une approche multicritères de l'alée lié aux cavités karstiques en contexte calcaire - Volume 1 : Trame méthodologique et Volume 2 : Etude de sites. Rapport BRGM/RP-63771-FR.

Platel J.P. (1987) - Le Crétacé supérieur de la plate-forme septentrionale du bassin d'Aquitaine. Stratigraphie et évolution géodynamique. Thèse Doctorat d'Etat ès-Sciences, Université de Bordeaux III, 573 p. avec atlas. Documents BRGM, n°164 (1989).

Platel J.P. (1996) - Stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique de la plate-forme carbonatée du Crétacé supérieur du nord du bassin d'Aquitaine. Géol. de la Fr. (4), p.33-58.

Platel J.P., Gomez E., Pédron N., Fondin A., Serrano O., Winckel A., poux E., Calas C., Rodriguez G. (2008) - Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord. Partie 1 - Synthèse géologique et hydrogéologique. situation des nappes du Jurassique et du Crétacé supérieur. BRGM/RP-56419-FR, 154p., 69 fig., 10 tab., 16 ann.

Platel J.P., Pédron N., Gomez E. et Saltel M. (2010) **-** Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord. Synthèse géologique et hydrogéologique, modélisation hydrodynamique. BRGM/RP-59330-FR, 217 p., 101 fig., 12 tab., 19 ann.

Rey J., Cubaynes R., Faure P., Hantzpergue P. et Pélissié T. (1988) - Stratigraphie séquentielle et évolution d'une plate-forme carbonatée : le Jurassique du Quercy (Sud-Ouest de la France). - C. R. Acad. Sciences Paris, t. 306, série II, p. 1009-1015.

Rey J., Cubaynes R., Hantzpergue P. et Pélissié T. (1995) - Le Jurassique du Quercy in « Du Lias nord-aquitain aux molasses miocènes. Généralités ». Strata, (2), 26, p. 19-62.

Rouiller D. (1987) - Etude des systèmes karstiques de la Touvre et de la Lèche (Angoulême, Charente). Géologie, hydrodynamique, hydrochimie. Thèse de l' Université d'Avignon.

Saplairoles M., Mauroux B., Ducasse G. (2005) - Gestion des eaux souterraines en Région-Aquitaine. Appui à la mise en place des réseaux départementaux de suivi qualité et quantité. Module 1. Année 2. BRGM/RP-53647-FR, 139 p., 28 ill., 6 ann.

Schoeller H. (1971) - Paléohydrogéologie de la partie septentionale du bassin d'Aquitaine. Etablissement d'une série de cycles hydrogéologiques, avec stages d'essorage et d'infiltration pendant les ères secondaire et tertiaire. pp. 47-49.

Serrano O. (2001) - Le Crétacé supérieur – Paléogène du bassin compressif nord-pyrénéen (bassin de l'Adour). Sédimentologie, stratigraphie, géodynamique. Thèse de Rennes 1, 159 p.

Serrano O., Delmas J., Hanot F., Vially R., Herbin JP., Huel P. et Tourlière B. (2006) - Le Bassin d'Aquitaine : valorisation des données sismiques, cartographie structurale et potentiel pétrolier. Ed. BRGM, 245 p., 142 figures, 17 tableaux, 17 annexes.

SIAEP_BELVES (2004) - dossier de mise à l'enquête publique - Source de Fongauffier (comprend notamment une étude préalable à la mise en place des périmètres de protection (SHE,2001) et un rapport d'enquête hydrogéologique (Pelissier-Hermitte, 2003).

Sourisseau B. (1991) - Expertise du forage de Lascombas, commune de Vaunac. Détermination des périmètres de protection. Rapport BRGM - R33983 AQI 4S 91, 35 p.

Stöckle Amélie (2014) - Caractérisation quantitative et qualitative des sources des réservoirs carbonatés de Dordogne. Mémoire de stage : Université de Bordeaux 1,

Sztràkos K., Blondeau A. et Hottinger L. (2010) – Lithostratigraphie et biostratigraphie des formations marines paléocènes et éocènes nord-aquitaines (bassins de Contis et Parentis, seuil et plate-forme nord-aquitains). Géologie de la France n°2, 2010 pages 3-52.

Waltham A.C. et Fookes P.G. (2003) - Engineering classification of karst ground conditions. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 36, pp.101-118.

Annexe 1

Synthèse des formations de la couverture paléogène nord-aquitaine

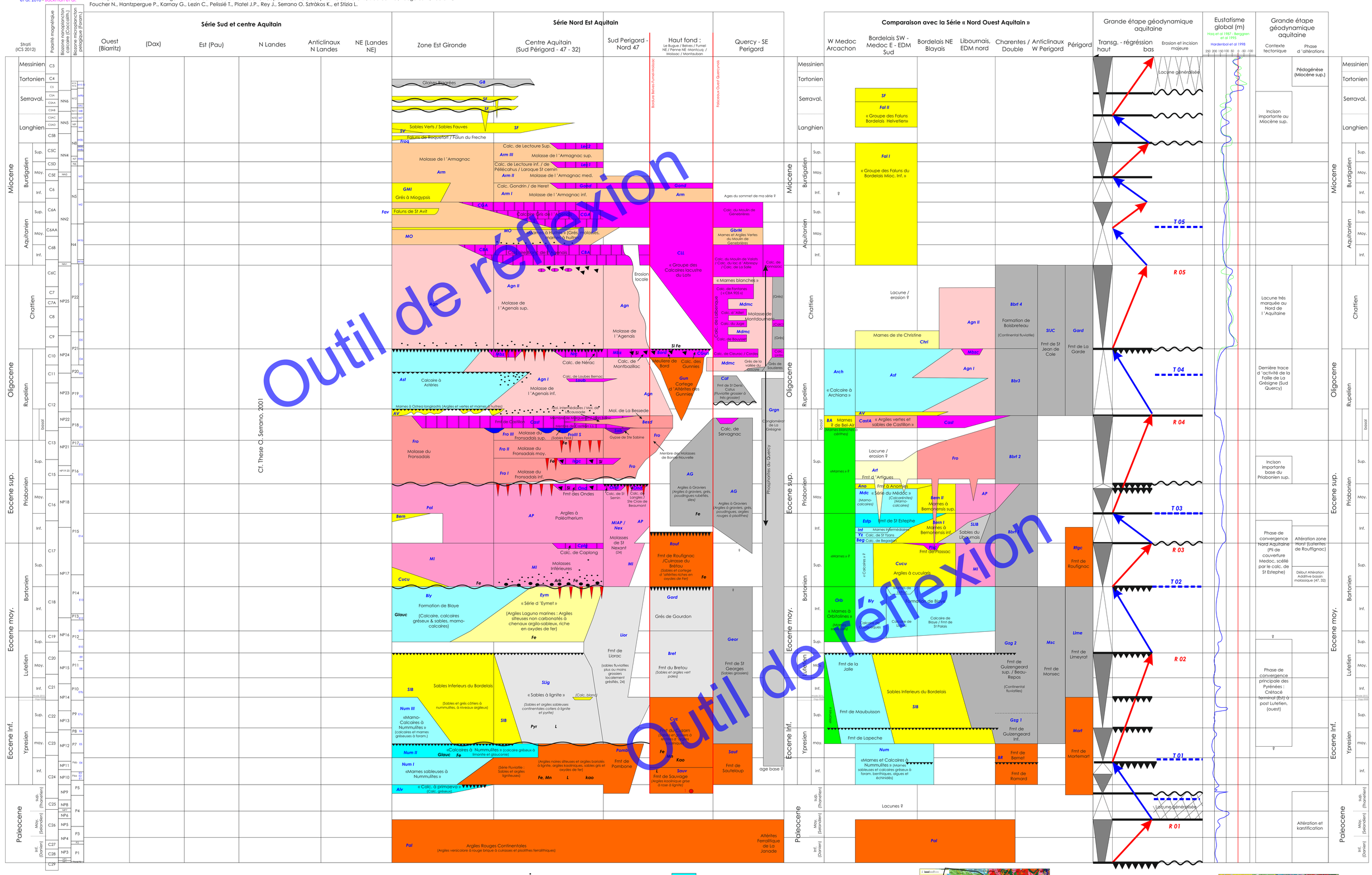
Schéma synthétique des formations du bassin aquitain - Partie Paléocène Eocène Oligocène et Miocène inf.

d 'après Ogg, Ogg, Gradstein, 2008 (basé sur les travaux de Berggren et all et Martini) - Wade et al, 2010 - Backman et al.

Les épaisseurs figurant sur ce schéma ne sont pas représentatives (seul les extensions maximales d 'âges sont représentées sans les lacunes). Les sources utilisées pour ce Schéma de synthèse sur l'Aquitaine sont les cartes géologiques au 1/50 000, le tableau de synthese réalisé par Jean Pierre PLATEL puis les travaux d 'étude générale ou de thèse de : Astruc J. G. Capdeville J.P., Cubaynes R., Cumelle R., Dubreuilh J., Faugeras P., Faure P., Foucher N., Hantzpergue P., Karnay G., Lezin C., Pelissié T., Platel J.P., Rey J., Serrano O. Sztrákos K., et Stizia L.

Auteur et Version
Novembre 2014
BRGM Aquitaine
GUTIERREZ Thomas

Révisions (date / Auteur) :
Projet Gaia - Fevr 2015 (TG) : Etat des connaissances
Projet K24 - Mai 2015 (TG) : Corrections



Sables Inferieurs du Bordelais — Nom abrégé de formation normalisé (de nombreux noms locaux sont regroupés sous la même appellation).

Sables Inferieurs du Bordelais — Nom de formation (et une description lithologique sommaire le cas échéants entre parenthèses)

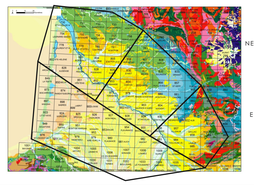
« Calc. à primaeva » — Nom de provisoire de formation

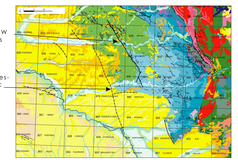
123 — Numero de référence de datations

Continental amont : Fluviatile grossier/ Cortège d 'altérites sédimentée
Continental fluviatile aval et amont (non carbonatée)
Continental fluviatile aval malassique carbonatée (Dépôts d'étuaires, palustres, lacustres)
Marin littoral (Delta sableux marins, dépôts lagunaires, systemes évaporitiques)
Marin proximal (Plate forme néritique proximale : calcaire, calcaire gréseux, dépôt de lagon et barrières)
Marin ouvert(Plate forme distale, marin profond : Calcaire, Marno-calcaires, marnes, flysh, ...)

Niveau sableux ou gréseux
Niveau pédogénétisé
Feld Ark — Niveau détritique arkosique / à Fledspath
Fe / Mn — Oxydes de fer - Manganèse - Encroutements - Cuirasses
Si — Silicifications
Glauc Arg Kao — Argiles : Kaolinique / Argiles Evaporitiques / Glauconie)
L / Pyr — Lignite / Pyrite (milieux réducteurs)
Gyp — Gypse
Mg — Dolimitisation

Incisions
Surface d'érosion majeure
Surface durcie majeure / Niveau condensé
Discontinuité majeure et son code aquitain
Surface d 'inondation maximale
Lacunes identifiées
Rétrogradation / « Transgression »
Progradation / « Régression »





Annexe 2

Synthèse des formations mésozoiques nord-aquitaines

Schéma synthétique des formations du bassin aquitain - Partie Trias Jurassique Crétacé

Auteur et Version
Novembre 2014
BRGM Aquitaine
GUTIERREZ Thomas

Révisions (date / Auteur) :
Projet Karst 24 - 2014 (TG) : Etat des connaissances
Projet Karst 24 - 2015 (TG) : corrections

Les épaisseurs figurant sur ce schéma ne sont pas représentatives (seul les extensions maximales d 'âges sont représentées sans les lacunes). Les sources utilisées pour ce Schéma de synthèse sur l'Aquitaine sont les cartes géologiques au 1/50 000, le tableau de synthese réalisé par Jean Pierre PLATEL puis les travaux d 'étude générale ou de thèse de : Astruc J. G. Capdeville J.P., Cubaynes R., Curnelle R., Dubreuilh J., Faugeras P., Faure P., Foucher N., Hantzpergue P., Karnay G., Lezin C., Pelissié T., Platel J.P., Rey J., Serrano O. Sztràkos K., et Stizia L.

Légende

- SIB : Nom abrégé de formation normalisée (de nombreux noms locaux sont regroupés sous la même appellation.
- Sables Inferieurs : Nom de formation (et une description lithologique sommaire le cas échéants entre parenthèses)
- « Calc. à primaeva » : Nom de provisoire formation
- 123 : Numéro de référence de datations (Annexe 3)
- 1 : Numéro de référence d 'obversations (Annexe 3)

- Continental amont : Fluviatile grossier/ Cortège d 'altérites sédimentée
- Continental fluviatile aval et amont (non carbonatée)
- Continental fluviatile aval molassique carbonatée (Dépôts d'éstuaires, palustres, lacustres)
- Marin littoral (Delta sableux marins, lagunes marines, systemes évaporitiques)
- Marin proximal fermé(Barrière et lagon)
- Marin proximal ouvert (Plate forme néritique proximale : calcaire, calcaire gréseux)
- Marin distal (Plate forme distale, marin profond : Calcaire, Marno-calcaires, marnes, flyshs, ...)

- Feld / Ark : Niveau détritique arkosique / à Fledspath
- Fe / Mn : Oxydes de fer - Manganèse - Encroutements - Cuirasses
- Si : Silicifications
- Glauc Arg / Kao : Argiles : Kaolinique / Argiles Evaporitiques / Glauconie)
- L / Pyr : Lignite / Pyrite (milieux réducteurs)
- Gyp : Gypse
- Mg : Dolimitisation
- Niveau sableux ou gréseux

- Surface d 'érosion majeure
- Surface durcie majeure / Niveau condensé
- Discontinuité majeure et son code aquitain
- Surface d 'inondation maximale
- Surface de régression maximale
- Lacunes identifiées
- Progradation / « Régression »
- Rétrogradation / « Transgression »
- Incisions
- Niveau pédogéntisé / Paléosols

Annexe 3

Tableau des 24 sources jaugées entre mai et juin 2014

Indice	Désignation	Commune	Lieu-dit	x (L2e)	y (L2e)	z	Date	Q (L/s)	Q (m3/h)	Observations/Méthode de mesure
07348X0004	HY	QUINSAC	LAVOIR 2	472499,1	2048872,1	120	28/04/2014	4,00	14,40	Mesure au seau
07341X0001	HY	ROCHEBEAUCOURT-ET-ARGENTINE(LA)	FONTAINE DE BOUDOIRE	448023,4	2053007,4	125	29/04/2014	10,00	36,00	Mesure au seau
07582X0004	HY	CHAPDEUIL	LE BOURG	454319,1	2039790	110	29/04/2014	3,25	11,70	Mesure au seau - Deux sorties d'eau - Section propre à la mesure d'un débit
07821X0002	HY	SAINT-VINCENT-DE-CONNEZAC	FONTAINE DU GAUT OU PUITS DU BOURG	447666	2019664,1	100	14/05/2014	2,50	9,00	Mesure au seau
							16/06/2014	2,67	9,60	Mesure au seau
07586X0002	HY	TOCANE-SAINT-APRE	LA RUE	454977,1	2028457,9	80	14/05/2014	3,50	12,60	Mesure du débit au courantomètre électromagnétique
07583X0003	HY	CREYSSAC	SOURCE DE CREYSSAC	459885,5	2035803,8	70	15/05/2014	170,40	613,44	Mesure du débit au courantomètre électromagnétique
								88,23	317,63	Jaugeage par dilution de sel
07583X0011	HY	VALEUIL	GERBAUDIE	465909	2038688	100	15/05/2014	18,15	65,35	Mesure du débit au courantomètre électromagnétique
07348X0010	HY	CHAPELLE-MONTMOREAU(LA)	SOURCE DU LITOU	467331,5	2051357,1	160	15/05/2014	12,11	43,59	Mesure du débit au courantomètre électromagnétique
							16/06/2014	10,00	36,00	Mesure au seau
07592X0001	HY	LIGUEUX	FONTAMIEL	481208,7	2036783,6	160	16/05/2014	0,20	0,72	Estimation du débit
07591X0002	HY	AGONAC	STATION DE POMPAGE DE BEZAN	475825,5	2033958	123	16/05/2014	23,10	83,16	Mesure au courantomètre électromagnétique
08068X0010	HY	LIORAC-SUR-LOUYRE	LA CROIX DU POINT	466887	1990422,1	80	19/05/2014	3,70	13,33	Mesure au seau
08073X0022	S	MAUZENS-ET-MIREMONT	GRAND FOND	489260	2000488,3	135	19/05/2014	5,88	21,18	Mesure au seau
							17/06/2014	4,88	17,56	Mesure au seau
08086X0003	HY	VEZAC	LESTIVINIE, STATION DE POMPAGE	508746,1	1983996,9	100	20/05/2014	5,00	18,00	Mesure au seau
08085X0025	HY	SAINT-VINCENT-DE-COSSE	AYGUE-VIVE BIRAT	503452,9	1983130,1	100	21/05/2014	14,93	53,73	Mesure au seau (approximative)
							19/06/2014	10,00	36,00	Jaugeage par dilution de sel
								12,75	45,90	Mesure au seau
								22,20	79,92	Mesure au courantomètre électromagnétique
							05/08/2014	6,60	23,76	Jaugeage par dilution de sel
								11,30	40,68	Mesure au courantomètre électromagnétique
08087X0001	HY	CARSAC-AILLAC	SOURCE DU BOURG	515968,9	1982771,7	80	22/05/2014	4,10	14,75	Mesure au seau
07821X0001	SOURCE	BEAURONNE	LAVOIR	446157,4	2012313,9	70	16/05/2014	8,69	31,29	Jaugeage par dilution de sel
08074X0008	HY	MANAURIE	SOURCE DU BOURG	493658,4	1996413,2	80	17/06/2014	2,82	10,14	Mesure au seau
08085X0040	HY	BEYNAC-ET-CAZENAC	SOURCE DE YOLE	505014,9	1984829,8	124	25/06/2014	0,32	1,15	Trop plein du captage, débit réel ou pompage? Mesure au seau
08088X0003	HY	CARLUX	LE CINGLE-RN 703	525526,4	1988038,7	100	25/06/2014	2,10	7,56	Mesure au courantomètre électromagnétique
08088X0004	HY	PEYRILLAC-ET-MILLAC	LAVOIR COMMUNAL BORDURE N.703	526286,8	1988008,2	100	25/06/2014	4,37	15,72	Mesure au seau - Deux sorties d'eau (buses)
07841X0004	HY	AZERAT	LA CREZE	503408,6	2019513,2	200	25/06/2014	0,02	0,05	Mesure à l'éprouvette
08082X0005	HY	SAINT-GENIES	PINSOU	514288,1	1998769,7	220	23/06/2014	4,00	14,40	Mesure au seau
08082X0002	HY	MARCILLAC-SAINT-QUENTIN	LAVOIR COMMUNAL	510064,9	1996361,5	230	23/06/2014	0,34	1,22	Mesure au seau
07588X0006	HY	CHANCELADE	L'ABIME	469156,3	2025242,9	89	24/06/2014	2,22	7,99	Mesure estimée au seau

Annexe 4

Résultats des mesures et prélèvements effectués entre mai et juin 2014

							Oxydo-Réduction				Oxygène dissous			Cations (mg/L)						Anions (mg/L)								Balance ionique		
Indice	Commune	Lieu-dit	Date	Heure	Conditions météo	T ext (°C)	T eau (°C)	Eh eau mesuré (mV)	Eh/ENH	Conductivité (µS/cm) (25°C)	%	mg/L	pH	Lithium	Sodium	Ammonium	Potassium	Magnesium	Calcium	Fluorure	Chlorure	Nitrite	Bromure	Nitrate	Sulfate	Phosphate	HCO3- (mg/L)	Charge positive	Charge négative	Erreur
07106X0003/HY	VARAIGNES	FONTAINE LAVOIR DE LIMON	26/06/2014	10h00	Soleil	17.6	13.1		222.264242	567	90.1	9.33	7.17	n.a.	4.706558048	n.a.	0.85164488	6.368104649	112.224548	0.028	12.135	n.a.	n.a.	21.548	6.757	0.225	333.06	6.29015021	6.36837279	0.61794404
07347X0002/HY	GONTERIE-BOULOUNEIX(LA)	SOURCE DE LA ROCHE	16/06/2014	14h05	Soleil	21.8	12.3	200.6	415.935586	660	74.1	7.44	6.927	n.a.	5.324741673	0.222166303	0.707289709	1.393611581	137.348456	0.021	9.646	n.a.	n.a.	7.06	5.122	n.a.	391.62	6.91229761	7.23320324	2.26860566
07348X0001/HY	BRANTOME	SOURCE DE L'ABBAYE	26/06/2014	11h45	Soleil	21.4	15.2		220.764464	575	107.5	10.69	7.644	n.a.	5.455253803	n.a.	0.943305023	1.366726321	123.343145	0.187	10.442	0.262	n.a.	12.563	7.202	n.a.	351.36	6.40681154	6.54242337	1.04725741
07348X0010/HY	CHAPELLE-MONTMOREAU(LA)	SOURCE DU LITOU	16/06/2014	14h45	Soleil	22.1	12.6	277.2	492.321332	610	78	8.61	6.97	n.a.	5.303916974	0.127750405	1.043217334	1.394386218	124.78595	n.a.	9.209	n.a.	n.a.	3.811	3.757	n.a.	346.48	6.07914703	6.61285057	4.20503979
07583X0011/HY	VALEUIL	GERBAUDIE	16/06/2014	13h15	Soleil	21.7	12.5	235.5	450.69275	646	84.8	8.35	7.138	n.a.	6.05150655	0.340035115	3.761883427	1.784861539	134.63959	0.065	13.603	n.a.	n.a.	35.462	13.557	n.a.	347.7	6.50209902	6.64654404	1.09855454
07583X0014/HY7	SAINT-JULIEN-DE-BOURDEILLES	PUY DE LEVY	16/06/2014	12h10	Soleil	20.9	11.8	207.1	422.792676	533	81.4	8.55	7.31	n.a.	5.242734439	0.243447868	1.764456464	0.939353907	112.011213	0.01	7.913	n.a.	n.a.	0.514	5.652	n.a.	314.76	5.50894173	5.95202758	3.86604164
07598X0001/HY_1	TOURTOIRAC	LE PORTAIL / GRIFFON 1 (source)	17/06/2014	10h20	Soleil	19.8	12.7	220.4	435.449914	639	83.4	8.67	7.135	n.a.	3.614426365	0.070504064	0.797142976	1.95453322	133.193139	0.022	8.072	n.a.	n.a.	11.47	4.912	n.a.	370.88	6.59471362	7.00012327	2.9820855
07598X0001/HY_2	TOURTOIRAC	LE PORTAIL / GRIFFON 2 (pompage)	17/06/2014	10h50	Soleil	20.2	12.6	216.8	431.921332	640	86	8.33	7.049	n.a.	3.504437096	0.167715871	0.708301466	1.956788766	134.541899	0.02	7.914	n.a.	n.a.	11.43	4.912	n.a.	367.22	6.52961775	7.06068907	3.90772136
07598X0002/HY	SAINTE-EULALIE-D'ANS	CREZEN	17/06/2014	9h40	Soleil	20	13.3	351.4	566.021406	639	131.8	14.23	7.014	n.a.	3.679898715	0.009644194	0.63242451	2.98374812	134.363328	0.024	8.67	n.a.	n.a.	10.773	4.545	n.a.	367.22	6.53267092	7.14302371	4.46304781
07598X0003/HY	SAINTE-ORSE	LES MICHAUDS	17/06/2014	9h00	Soleil	22.4	13.1	224.8	439.564242	641	65.8	6.88	7.017	n.a.	4.00714108	0.045707119	1.872746243	2.643310449	129.627398	0.037	9.333	n.a.	n.a.	12.619	6.103	n.a.	357.46	6.4535795	6.92388844	3.51567982
07821X0002/HY	SAINT-VINCENT-DE-CONNEZAC	FONTAINE DU GAUT OU PUITS DU BOURG	16/06/2014	10h55	Soleil	21.1	14.4	200.8	414.635808	495	64.6	6.04	7.016	n.a.	11.23100897	0.694429629	9.3473927	3.889666116	81.642026	0.035	14.752	n.a.	n.a.	21.977	12.184	n.a.	247.66	5.08385037	5.13422162	0.49296233
07841X0004/HY	AZERAT	LA CREZE	25/06/2014	18h20	Soleil	20.5	14.6	38.7	259.892972	628	92.4	9.15	7.33	n.a.	3.749683941	n.a.	0.397740994	2.347441102	139.251554	0.011	6.314	0.117	n.a.	1.626	4.944	n.a.	407.48	6.98708496	7.33142602	2.40486636
07841X0011/HY	AURIAC-DU-PERIGORD	STATION POMPAGE EYGUEPARSE	17/06/2014	14h00	Soleil	21.7	11.6	116.9	332.735512	559	41.7	4.59	7.302	n.a.	4.764535712	0.032118664	1.210030949	1.602162797	115.315519	0.06	9.807	n.a.	n.a.	3.948	5.833	n.a.	322.08	5.74145177	6.13746967	3.33378666
07846X0002/HY	AUBAS	FONT NEGRE	17/06/2014	14h30	Soleil	20.3	12.9	240.9	455.807078	665	67.1	7	7.053	n.a.	4.456004158	0.087514246	1.241866502	1.215332689	138.721922	0.023	9.601	n.a.	n.a.	12.556	7.249	n.a.	370.88	6.70398767	7.26295589	4.00207975
08068X0010/HY	LIORAC-SUR-LOUYRE	LA CROIX DU POINT	19/06/2014	11h00	Soleil	20.3	13.8	292	513.764316	601	71.6	6.62	7.247	n.a.	5.293098199	n.a.	1.479260088	1.807967786	118.891265	0.027	8.742	n.a.	n.a.	8.964	3.11	n.a.	336.72	5.97562583	6.36329169	3.14181413
08073X0022/S	MAUZENS-ET-MIREMONT	GRAND FOND	17/06/2014	12h10	Soleil	20.3	12.7	248.5	463.549914	598	89.8	9.32	7.119	n.a.	4.903793992	0.006567025	2.350107048	1.770508847	117.347853	0.016	9.57	n.a.	n.a.	20.612	5.383	n.a.	320.86	5.97417491	6.28840264	2.56249329
08074X0008/HY	MANAURIE	SOURCE DU BOURG	17/06/2014	18h05	Soleil	22.3	12.6	238.1	453.221332	543	87	8.65	7.159	n.a.	3.981323808	0.061184478	1.210673366	1.171261104	112.078808	0.015	6.981	n.a.	n.a.	3.402	3.989	n.a.	320.86	5.59462302	5.90568941	2.70485162
08081X0017/HY	SIREUIL	CHATEAU DE COMMARQUE	17/06/2014	16h00	Soleil	22.1	13.6	204.3	418.707152	605	92.5	9.78	7.019	n.a.	4.732370382	0.010220362	2.079687611	1.347790898	122.750247	n.a.	11.614	n.a.	n.a.	20.076	4.95	n.a.	307.44	5.79408638	6.50890883	5.81014978
08085X0005/HY	SAINT-ANDRE-D'ALLAS	VILLENEUVE	19/06/2014	8h40	Soleil	17.2	12.2	218.6	441.507004	609	81.7	8.69	7.918	n.a.	4.379187006	n.a.	1.464177322	1.299283886	122.568444	n.a.	9.258	n.a.	n.a.	6.741	6.606	n.a.	352.58	6.28713954	6.46463828	1.39195286
08085X0025/HY	SAINT-VINCENT-DE-COSSE	AYGUE-VIVE BIRAT	19/06/2014	9h45	Soleil	16.8	13.6	162.1	384.007152	566	75.3	7.77	7.125	n.a.	5.307130617	n.a.	0.811655942	1.349455311	111.27836	0.03	9.358	n.a.	0.669	5.787	5.727	n.a.	297.68	5.35625684	5.92792909	5.0661364
08085X0040/HY	BEYNAC-ET-CAZENAC	SOURCE DE YOLE	25/06/2014	10h20	Soleil	26.2	13.9	161.7	383.392898	671	72.5	7.37	7.088	n.a.	5.379606142	n.a.	2.626771948	2.06622537	146.575003	0.035	10.683	n.a.	n.a.	2.835	8.533	n.a.	436.76	7.68442622	7.80218464	0.76038862
08086X0003/HY	VEZAC	LESTIVINIE, STATION DE POMPAGE	18/06/2014	14h20	Soleil	23.2	13.6	256.7	478.607152	606	71.5	7.37	7.097	n.a.	5.066433241	n.a.	1.428587405	1.345973108	119.212729	0.015	8.88	n.a.	n.a.	10.714	5.092	n.a.	351.36	6.28903063	6.32971104	0.32238086
08087X0001/HY	CARSAC-AILLAC	SOURCE DU BOURG	18/06/2014	15h30	Soleil	21.5	16.5	381.9	601.73603	536	71.5	6.66	7.141	n.a.	4.459339501	n.a.	1.08319103	2.669792935	100.816478	0.035	9.433	n.a.	n.a.	16.375	9.106	n.a.	281.82	5.33953955	5.48496511	1.34348469
08088X0003/HY	CARLUX	LE CINGLE-RN 703	25/06/2014	11h50	Soleil	27	15	165.2	386.1073	515	80.1	8	7.211	n.a.	3.568043805	n.a.	1.129146144	6.241301949	102.1894	0.05	7.217	n.a.	n.a.	8.927	10.289	n.a.	314.76	5.72163381	5.81366328	0.79780748
08088X0004/HY	PEYRILLAC-ET-MILLAC	LAVOIR COMMUNAL BORDURE N.703	25/06/2014	13h05	Soleil	27.2	14.2	178.8	400.278644	519	88.7	9.01	7.102	n.a.	4.195158361	n.a.	1.973578553	1.907567723	110.732213	0.03	7.08	0.163	n.a.	8.163	3.932	n.a.	296.46	5.27301458	5.92857737	5.85240742
08321X0003/HY	CASTELNAUD-LA-CHAPELLE	FONT PRIME, STATION DE POMPAGE	18/06/2014	10H00	Soleil	23.9	13.4	189.6	411.649988	634	73.7	7.26	7.138	n.a.	5.500203016	0.140130416	1.413722769	2.42844744	125.618256	0.032	12.305	n.a.	n.a.	22.245	12.491	n.a.	334.28	6.44563921	6.75867198	2.37068611
08321X0005/HY	SAINT-CYBRANET	LA VALADE	18/06/2014	10h40	Soleil	21.4	13.8	659.7	881.464316	523	91.1	8.85	7.698	n.a.	4.250883017	n.a.	0.6602266	4.178292149	96.7645123	0.029	9.954	n.a.	n.a.	13.742	5.637	n.a.	320.86	5.87947703	5.38816651	-4.36036613
08321X0008/HY	VEZAC	BUDIGUE (SOURCE DE LA)	18/06/2014	9h10	Soleil	22.3	16.5	178.4	398.23603	537	49.5	4.75	7.17	n.a.	4.511566602	n.a.	1.040562796	4.465631859	100.235399	0.058	8.795	n.a.	n.a.	10.55	8.064	n.a.	302.56	5.54590777	5.60674211	0.54546984
08322X0007/HY	SAINT-MARTIAL-DE-NABIRAT	FONT DE FAUR, STATION DE POMPAGE	18/06/2014	11h25	Soleil	21.8	13.5	421.1	643.07857	624	51.9	4.82	7.108	n.a.	7.697846197	n.a.	1.870076766	3.071463107	113.541837	0.026	17.645	n.a.	n.a.	28.195	9.754	n.a.	302.56	6.11500865	6.31568674	1.61437536
08325X0004/HY	BESSE	LE MASSOULET	18/06/2014	13h00	Soleil	23.1	12.9	262.3	484.707078	543	67.4	6.96	7.109	n.a.	4.988376464	n.a.	1.45037918	1.387620712	102.797962	n.a.	10.915	n.a.	n.a.	15.892	3.899	n.a.	284.26	5.30501654	5.50960828	1.89180623

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - **www.brgm.fr**

Direction régionale Aquitaine – Limousin - Poitou-Charentes
Parc Technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac – France
Tél. : 05 57 26 52 70