

**Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan
Synthèse hydrogéologique des zones de
bordure « Graben de Pfulgriesheim »,
« Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et
« Entzheim-Basse vallée de la Bruche »**

Rapport final

BRGM/RP-64204-FR
décembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2011RGH0402

A. BRUGERON

<p>Vérificateur :</p> <p>Nom : D. ALLIER</p> <p>Date : 17/12/2014</p> <p>Signature </p>

<p>Approbateur :</p> <p>Nom : A.-V. BARRAS</p> <p>Directrice BRGM Alsace</p> <p>Date : 05/01/2015</p> <p>Signature : </p>

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



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés :

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : synthèse hydrogéologique, aquifère rhénan, nappe d'Alsace, Vosges, nappes alluviales

Brugeron A. (2014) – Région Alsace. Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan. Synthèse hydrogéologique des zones de bordure « Graben de Pfulgiesheim », « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et « Entzheim-Basse vallée de la Bruche ». Rapport final BRGM/RP-64204-FR, 148 p., 80 ill.

Synthèse

L'étude du fonctionnement de la nappe rhénane en piémont vosgien (zones de bordure de la plaine d'Alsace) s'inscrit dans l'objectif d'une meilleure compréhension hydrogéologique de ces zones. En effet, du point de vue géologique et hydrogéologique, ces zones de bordure sont complexes car situées à l'interface de trois entités géomorphologiques qui se succèdent d'Ouest en Est: les Vosges cristallines et/ou gréseuses, les collines sous vosgiennes et enfin la plaine d'Alsace. Une meilleure caractérisation est donc nécessaire à la définition de mesures préventives et correctives pour la protection de la nappe d'Alsace et notamment pour diminuer les pollutions nitrates et phytosanitaires.

Pour répondre à ce besoin, le programme 2011-2014 de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), réalisé sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace, a donc fixé comme objectif prioritaire la réalisation de synthèses hydrogéologiques de ces zones de bordure pour en améliorer la connaissance. Ce programme est réalisé par le BRGM et cofinancé par la Région Alsace, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) et le BRGM.

Parmi les zones de bordure identifiées, trois font l'objet du présent document :

- Le « Graben de Pfulgriesheim », mis en évidence notamment lors des travaux de cartographie des formations superficielles (Urban et Boucher, 2011) ;
- La zone « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn », pour laquelle des problématiques récurrentes de qualité des eaux sont identifiées, notamment dans sa partie amont ;
- La zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche », correspondant également à un cône de piémont, et caractérisée, notamment, par une occupation du sol très variée.

La même approche méthodologique a été menée sur ces trois zones de bordure, comprenant plusieurs phases qui sont (i) une description du contexte topographique, (ii) une explication sur les critères utilisés pour délimiter la zone, (iii) une description du contexte géologique, en s'appuyant sur les cartes géologiques au 1/50000^{ème} mais également sur la carte des formations superficielles réalisée dans le cadre de la BRAR, (iv) le recensement des ouvrages à l'intérieur de la zone et leur description en fonction de leur usage (captages AEP, piézomètres ou qualitomètres), (v) une description du contexte hydrogéologique et hydrologique du secteur avec notamment la détermination des directions principales de l'écoulement souterrain et des zones remarquables d'alimentation de la nappe et (vi) une synthèse sur l'occupation actuelle du sol et les pratiques agricoles et quelques premiers éléments de vulnérabilité de la nappe considérée.

A l'issue de ce travail de synthèse, un bilan des connaissances a pu être mené pour chacune des trois zones de bordure. Sur cette base, des recommandations sont formulées concernant la réalisation d'études complémentaires dans des secteurs historiquement mal connus ou la mise en place de dispositifs de surveillance afin de se réappropriier la connaissance de certaines zones qui ont été délaissées.

Les zones « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » correspondent à des cônes de déjection des cours d'eau de la Zorn et de la Bruche. Les premières formations géologiques aquifères qui y sont rencontrées correspondent donc à des alluvions d'origine vosgienne, généralement assez étendues et dont les épaisseurs maximales sont observées au cœur des anciens chenaux de ces deux cours d'eau. Contrairement à ces deux zones, le graben de Pfulgriesheim a la particularité de ne pas être composé d'alluvions d'origine vosgienne mais bien d'une imposante épaisseur d'alluvions

sablo-graveleuses rhénanes. Le contexte structural y est quant à lui plus complexe, les limites supposées du graben étant définies par des failles qui n'ont néanmoins pas réellement été reconnues. C'est d'ailleurs pourquoi il est préconisé de réaliser une campagne de géophysique ciblée en bordure du graben, pour parfaire sa délimitation.

Ces trois secteurs se caractérisent également par la présence massive de couches de loess recouvrant les alluvions aquifères. Au niveau du graben de Pfulgriesheim et des collines de Brumath, la détermination précise de l'âge de ces loess est délicate. Ces secteurs montrant par ailleurs (i) une variabilité importante dans la propension du terrain à laisser ruisseler ou s'infiltrer l'eau de pluie et (ii) une pollution avérée en nitrates, il est donc nécessaire d'étudier plus finement les propriétés physico-chimiques et texturales de ces loess, à travers une campagne de prélèvements en différents points de ces secteurs.

Le secteur le mieux documenté est celui d'« Entzheim-Basse vallée de la Bruche ». Il comporte un grand nombre d'ouvrages, assez bien décrits et répartis de façon homogène sur l'ensemble du territoire. A contrario, la moitié amont du graben de Pfulgriesheim ainsi que les collines de Brumath sont bien moins connues. Ces dernières, en particuliers, semblent contenir des nappes perchées dans les loess épais les recouvrant mais l'absence de document descriptif pour certains ouvrages supposés les capter empêche de confirmer cette hypothèse. La réalisation d'ouvrages de reconnaissances sur ces secteurs permettrait d'en améliorer la connaissance.

D'autres préconisations plus spécifiques sont également proposées pour chaque secteur étudié.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Méthodologie	15
2.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR	15
2.1.1. Contexte topographique et limites du secteur	15
2.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur.....	15
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	15
2.2.1. Description générale	15
2.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011).....	16
2.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE	19
2.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA	19
2.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères	20
2.3.3. Détermination des directions d'écoulement souterrain	20
2.3.4. Relations nappe-rivière et inter-nappes.....	22
2.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR.....	23
2.4.1. Captages AEP	23
2.4.2. Piézomètres (ADES et hors ADES)	24
2.4.3. Qualitomètres	26
2.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE	28
2.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2)	28
2.5.2. Comparaison épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS) et IDPR.....	30
2.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan (Région Alsace, 2012).....	31
2.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & PRECONISATIONS/RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE	33
3. Secteur Graben de Pfulgriesheim	35
3.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR	35
3.1.1. Contexte topographique et limites du secteur	35
3.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur.....	36
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	38
3.2.1. Description générale	38
3.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011).....	40
3.2.3. Description des formations géologiques principales rencontrées à l'affleurement	42

3.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE	43
3.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA	43
3.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des alluvions rhénanes anciennes	45
3.3.3. Détermination des directions d'écoulement souterrain.....	45
3.3.4. Relations nappe-rivière et inter-nappes	48
3.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR	48
3.4.1. Captages AEP.....	49
3.4.2. Piézomètres (ADES et hors ADES)	50
3.4.3. Qualitomètres	55
3.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE .	57
3.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2).....	57
3.5.2. Comparaison épaisseur de ZNS et IDPR	58
3.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan – focus sur les nitrates (Région Alsace, 2012)	59
3.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE.....	60
4. Secteur Mommenheim-Brumath-cône de la Zorn	63
4.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR.....	63
4.1.1. Contexte topographique et limites du secteur	63
4.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur	64
4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL.....	66
4.2.1. Description générale.....	66
4.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011)	69
4.2.3. Description des formations géologiques principales rencontrées à l'affleurement	71
4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE	73
4.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA	73
4.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des alluvions de la Zorn	75
4.3.3. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des sables du Pliocène au sein des collines de Brumath	76
4.3.4. Détermination des directions d'écoulement souterrain.....	77
4.3.5. Relations nappe-rivière et inter-nappes	81
4.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR	83
4.4.1. Captages AEP	84
4.4.2. Piézomètres (ADES et HORS ADES).....	85
4.4.3. Qualitomètres	92
4.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE .	95

4.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2)	95
4.5.2. Comparaison épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS) et IDPR.....	96
4.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan – focus sur les nitrates (Région Alsace, 2012)	98
4.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & PRECONISATIONS/RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE	100
5. Secteur Entzheim-Basse vallée de la Bruche.....	103
5.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR	103
5.1.1. Contexte topographique et limites du secteur	103
5.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur.....	104
5.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	106
5.2.1. Description générale	106
5.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011).....	112
5.2.3. Description des formations géologiques rencontrées à l'affleurement... ..	113
5.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE	116
5.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA ...	116
5.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des alluvions de la Bruche	117
5.3.3. Détermination des directions d'écoulement souterrain	119
5.3.4. Relations nappe-rivière et inter-nappes.....	122
5.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR.....	123
5.4.1. Captages AEP	124
5.4.2. Piézomètres (ADES et hors ADES)	126
5.4.3. Qualitomètres	132
5.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE.....	136
5.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2)	136
5.5.2. Comparaison épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS) et IDPR.....	137
5.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan – focus sur les nitrates (Région Alsace, 2012)	139
5.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & PRECONISATIONS/RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE	140
6. Conclusion.....	143
7. Bibliographie	145
7.1. BIBLIOGRAPHIE GENERALE	145

7.2. BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE A LA ZONE « GRABEN DE PFULGRIESHEIM »	146
7.3. BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE A LA ZONE « MOMMENHEIM-BRUMATH-CONE DE LA ZORN »	147
7.4. BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE A LA ZONE « ENTZHEIM-BASSE VALLEE DE LA BRUCHE »	148

Liste des illustrations

Illustration 1 : Cartographie des formations superficielles de la plaine d'Alsace (Urban et Boucher, 2011 - Programme BRAR Région Alsace 2011-2014)	18
Illustration 2 : Grille d'épaisseur de ZNS en région Alsace (d'après Allier et al., 2011)	21
Illustration 3 : Extrait de la fiche de synthèse des piézomètres potentiellement représentatifs d'une relation nappe/rivière pour le département du Bas-Rhin (d'après Brugeron et al., 2012)	23
Illustration 4 : Réseau piézométrique de l'APRONA (Toulet F., Lihrmann D., 2013)	25
Illustration 5 : Carte des points de mesures du réseau de l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan en plaine d'Alsace (Région Alsace, 2012)	27
Illustration 6 : Carte de l'occupation du sol en région Alsace (d'après la BdOCS 2011/2012-CIGAL-V2)	28
Illustration 7 : Densité de surface cultivée en fonction du type de pratique – centrée sur les trois zones de bordure de la présente étude (d'après l'atlas agricole de la DRAAF Alsace, 2014)	29
Illustration 8 : Carte IDPR en région Alsace	30
Illustration 9 : Carte nitrates issue de l'Inventaire 2009 de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur (Région Alsace, 2012)	32
Illustration 10 : Localisation du secteur par rapport aux grands ensembles géo-morphologiques situés à l'Ouest de Strasbourg, Carte d'élévation topographique et localisation des cours d'eau (MNT : Modèle Numérique de Terrain)	35
Illustration 11 : Les évolutions dans la définition d'un zonage homogène dans le secteur du graben de Pfulgriesheim à travers trois études (Elsass, 2009 – Urban et al., 2010 – Présente étude, 2014)	37
Illustration 12 : Carte géologique au 1/50000 ^{ème} centrée sur le graben de Pfulgriesheim (trait rouge = coupe schématique réalisée par Frey en 2006)	39
Illustration 13 : Coupe schématique Nord-Ouest/Sud-Est du graben de Pfulgriesheim (Frey, 2006)	40
Illustration 14 : Cartographie des formations superficielles dans la zone du graben de Pfulgriesheim - à gauche, les formations récentes de couverture, à droite le substrat des formations aquifères (d'après Urban et Boucher, 2011)	41
Illustration 15 : Cartographie des entités hydrogéologiques affleurantes du référentiel BDLISA répertoriés dans le graben de Pfulgriesheim	44
Illustration 16 : Localisation des lignes de courant principales et des lignes de partage des eaux souterraines – graben de Pfulgriesheim	46

Illustration 17 : Comparaison des bassins versants souterrains et de surface – graben de Pfulgriesheim	47
Illustration 18 : Localisation des captages AEP, qualitomètres ADES, piézomètres ADES et des autres points d'eau associés à la BSS EAU dans ou proche du graben de Pfulgriesheim	49
Illustration 19 : Caractéristiques des forages du champ captant de Lampertheim (SDEA, 2014)	50
Illustration 20 : Localisation des piézomètres ADES et hors ADES et des stations de mesure hydrométrique référencées dans la Banque Hydro – graben de Pfulgriesheim	51
Illustration 21 : Chroniques piézométriques remarquables et comparaison avec les débits enregistrés sur la station hydrométrique la plus proche – graben de Pfulgriesheim	52
Illustration 22 : Comparaison des chroniques piézométriques des deux points d'eau à chronique longue situés à Lampertheim avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Souffel à Mundolsheim	53
Illustration 23 : Comparaison des chroniques piézométriques de la partie amont du graben jusqu'à Lampertheim	54
Illustration 24 : Localisation des qualitomètres ADES – graben de Pfulgriesheim	55
Illustration 25 : Chroniques nitrates pour les qualitomètres dans ou à proximité du graben de Pfulgriesheim	56
Illustration 26 : Occupation du sol sur la zone d'étude du graben de Pfulgriesheim et en amont, sur la Haute Terrasse du Kochersberg (source : Bd OCS CIGAL v2, années 2011-2012)	57
Illustration 27 : Comparaison IDPR et épaisseur de Zone Non Saturée – zone du « graben de Pfulgriesheim »	58
Illustration 28 : Carte des concentrations en nitrates dans les eaux souterraine issue de l'Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan – Graben de Pfulgriesheim (Région Alsace, 2012)	59
Illustration 29 : Carte d'élévation topographique du secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et de localisation des cours d'eau (MNT : Modèle Numérique de Terrain)	63
Illustration 30 : Les évolutions dans la définition d'un zonage homogène dans le secteur de la Zorn à travers trois études (Elsass, 2009 – Urban et al., 2010 – Présente étude, 2014)	65
Illustration 31 : Coupe géologique traversant le cône de déjection de la Zorn, entre les villages de Berstett et de Geudertheim (carte géologique au 1/50000 ^{ème} , BRGM, 1972)...	66
Illustration 32 : Extrait de la carte géologique au 1/50000 ^{ème} centrée sur le secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » d'après la carte géologique de Brumath-DRusenheim (BRGM, 1972)	67
Illustration 33 : Paléovallées pliocènes dans la région de Strasbourg. Les courbes de niveau sont établies au toit de l'Oligocène. 1 : courbe de niveau du toit des marnes et sa cote, 2 : dépression (Simler et Millot, 1967)	68
Illustration 34 : Migration du cours de la Zorn (1 à 7) vers le Nord, au cours du Quaternaire (d'après Vogt, 1992)	69
Illustration 35 : Cartographie des formations superficielles dans la zone Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn - à gauche, les formations récentes de couverture, à droite le substrat des formations aquifères (d'après Urban et Boucher, 2011)	70
Illustration 36 : Cartographie des entités hydrogéologiques affleurantes du référentiel BDLISA répertoriés dans le secteur d'étude « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »	74

Illustration 37 : Coupes schématiques simplifiées des formations aquifères rencontrées au niveau des collines de Brumath (d'après APRONA, 2013)	75
Illustration 38 : Champ captant de Mommenheim – structure d'âge des eaux et contributions (Urban et al., 2013)	76
Illustration 39 : Localisation des lignes de courant principales et des lignes de partage des eaux souterraines – Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn	78
Illustration 40 : Comparaison des lignes de courants principales calculées à partir de la grille d'épaisseur moyenne de la zone non saturée avec la carte piézométrique simulée issue du modèle hydrodynamique de la nappe du Plio-Quaternaire (APRONA, 2013)	79
Illustration 41 : Comparaison des bassins versants souterrains et de surface – secteur de Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn	80
Illustration 42 : Comparaison des débits journaliers de la Zorn mesurés au niveau des station de Waltenheim-sur-Zorn (amont) et d'Hœrdt (aval).....	82
Illustration 43 : Localisation des captages AEP, qualitomètres ADES, piézomètres ADES et des autres points d'eau associés à la BSS EAU – secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »	83
Illustration 44 : Caractéristiques des forages AEP de Mommenheim et Weitbruch (SDEA, 2014)84	
Illustration 45 : Caractéristiques des forages AEP de Brumath (SDEA, 2014)	85
Illustration 46 : Caractéristiques des forages AEP de Bietlenheim-Geudertheim (SDEA, 2014) 85	
Illustration 47 : Localisation des piézomètres ADES et hors ADES et des stations de mesure hydrométrique référencées dans la Banque Hydro – secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »	86
Illustration 48 : Chroniques piézométriques remarquables et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn en amont – collines de Brumath (période 1968 à 1976)87	
Illustration 49 : Chroniques piézométriques remarquables d'ouvrages le long de la Zorn et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn en amont	88
Illustration 50 : Chroniques piézométriques remarquables entre Mommenheim et Geudertheim et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn dans la station hydrométrique de Waltenheim-sur-Zorn	89
Illustration 51 : Chroniques piézométriques remarquables entre Mommenheim et Hœrdt et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn dans la station hydrométrique de Waltenheim-sur-Zorn	90
Illustration 52 : Chroniques piézométriques remarquables au sein du cône de déjection et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn dans la station hydrométrique de Waltenheim-sur-Zorn	91
Illustration 53 : Localisation des qualitomètres ADES dans la zone de bordure « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »	92
Illustration 54 : Occupation du sol sur la zone « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et en amont (source : Bd OCS CIGAL v2, années 2011-2012).....	96
Illustration 55 : Comparaison IDPR et épaisseur de Zone Non Saturée – zone de « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »	97
Illustration 56 : Carte des concentrations en nitrates dans les eaux souterraine issue de l'Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan – zone de « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » (Région Alsace, 2012)	99
Illustration 57 : Carte d'élévation topographique du secteur « Entzheim-Basse Vallée de la Bruche » et de localisation des cours d'eau (MNT : Modèle Numérique de Terrain)	104

Illustration 58 : Les évolutions dans la définition d'un zonage homogène dans le secteur de la Basse vallée de la Bruche à travers trois études (Elsass, 2009 – Urban et al., 2010 – Présente étude, 2014)	105
Illustration 59 : Coupe Nord-Sud en lisière est de la feuille Molsheim (entre Osthoffen et Meistratzheim) -H Vogt (BRGM, 1975).....	107
Illustration 60 : Extrait de la carte géologique harmonisée au 1/50000 ^{ème} centrée sur la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche », d'après les cartes géologiques de Molsheim (BRGM, 1975) et Strasbourg (BRGM, 1971)	108
Illustration 61 : Migration du cours de la Bruche (A à E) vers le Nord au cours du Quaternaire (d'après Vogt, 1992)	110
Illustration 62 : Toit du substratum marneux imperméable montrant les paléovallées de la Bruche et de la Mossig (Rebouças, 1964)	111
Illustration 63 : Extrait de la carte du toit du substratum réalisée dans le cadre du projet LIFE (Elsass, 1996)	111
Illustration 64 : Cartographie des formations superficielles dans la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » - à gauche les formations récentes de couverture, à droite, le substrat des formations aquifères (d'après Urban et Boucher, 2011).....	112
Illustration 65 : Cartographie des entités hydrogéologiques affleurantes du référentiel BDLISA répertoriés dans la zone « Entzheim – Basse vallée de la Bruche »	117
Illustration 66 : Localisation des lignes de courant principales et des lignes de partage des eaux souterraines – Entzheim-Basse vallée de la Bruche	120
Illustration 67 : Comparaison des bassins versants souterrains et de surface – zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »	122
Illustration 68 : Localisation des captages AEP, qualitomètres & piézomètres ADES et autres ouvrages répertoriés dans la BSS EAU dans ou à proximité de la zone de bordure « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »	124
Illustration 69 : Caractéristiques des ouvrages AEP alimentant la Communauté de Communes de Molsheim-Mutzig (SDEA, 2014)	125
Illustration 70 : Localisation des piézomètres ADES et hors ADES et des stations de mesure hydrométriques référencées dans la Banque Hydro – zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »	126
Illustration 71 : Comparaison de la chronique du piézomètre 02714X0050/240B avec les chroniques de débits journaliers enregistrés par les stations hydrométriques de la Bruche à Mutzig et à Wolxheim et de la Mossig à Soultz-les-Bains	128
Illustration 72 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages situés le long du Bras d'Altorf avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig	129
Illustration 73 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages 02721X0048/287 et 02721X0018/F avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig (période 1981-1988)	130
Illustration 74 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages du horst de Griesheim avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig	131
Illustration 75 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages 02718X0033/286, 02718X0035/285C et 02718X0003/285D avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig (période 1981-1988)	132
Illustration 76 : Localisation des qualitomètres ADES dans la zone de bordure « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »	133

Illustration 77 : Tableau synthétique des analyses qualité réalisées sur les forages AEP des champs captants de Griesheim-près-Molsheim et d'Altorf (SDEA, 2014)	135
Illustration 78 : Occupation du sol sur la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » et en amont (source : Bd OCS CIGAL v2, années 2011-2012).....	137
Illustration 79 : Comparaison IDPR et épaisseur de Zone Non Saturée – zone de « Entzheim-Basse Vallée de la Bruche »	138
Illustration 80 : Carte des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines issues de l'Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan – zone de « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » (Région Alsace, 2012).....	139

1. Introduction

Le suivi de la qualité des eaux de la nappe d'Alsace met en évidence une pollution diffuse de la nappe qui s'observe particulièrement au niveau de ses zones de bordure. L'interprétation de ce particularisme est rendu difficile du fait de la complexité du fonctionnement hydrogéologique de ces zones. En effet, du point de vue géologique et hydrogéologique, ces zones se situent à l'interface de trois entités géomorphologiques qui se succèdent d'Ouest en Est: les Vosges cristallines et/ou gréseuses, les collines sous vosgiennes et enfin la plaine d'Alsace. **Cette étude a pour objectif une meilleure compréhension hydrogéologique de ces zones et in fine une aide à la définition de mesures préventives et correctives pour la protection de la nappe d'Alsace et notamment pour diminuer les pollutions nitrates et phytosanitaires.**

L'étude du fonctionnement de la nappe rhénane en piémont vosgien (zones de bordure de la plaine d'Alsace) s'inscrit dans l'objectif d'une meilleure compréhension hydrogéologique de ces zones. En effet, du point de vue géologique et hydrogéologique, ces zones de bordure sont complexes car situées à l'interface de trois entités géomorphologiques qui se succèdent d'Ouest en Est: les Vosges cristallines et/ou gréseuses, les collines sous vosgiennes et enfin la plaine d'Alsace. Une meilleure caractérisation est donc nécessaire à la définition de mesures préventives et correctives pour la protection de la nappe d'Alsace et notamment pour diminuer les pollutions nitrates et phytosanitaires.

Pour répondre à ce besoin, le programme 2011-2014 de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), réalisé sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace, a donc fixé comme objectif prioritaire la réalisation de synthèses hydrogéologiques de ces zones de bordure pour en améliorer la connaissance. Ce programme est réalisé par le BRGM et cofinancé par la Région Alsace, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) et le BRGM.

Dans un premier temps, le présent rapport détaille la méthodologie adoptée pour la réalisation de ces synthèses hydrogéologiques de bordure. Puis, cette approche méthodologique est appliquée sur les trois zones de bordure suivantes :

- Le « Graben de Pfulgiesheim », mis en évidence notamment lors des travaux de cartographie des formations superficielles (Urban et Boucher, 2011) ;
- La zone « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn », pour laquelle des problématiques récurrentes de qualité des eaux sont identifiées, notamment dans sa partie amont ;
- La zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche », correspondant également à un cône de piémont, et caractérisée, notamment, par une occupation du sol très variée.

L'objectif premier de ces synthèses est de consolider la connaissance hydrogéologique de ces zones particulières. De ce fait, elles pourront servir de socle de travail pour les prochaines études impliquant ces territoires.

Elles servent également d'état des lieux des connaissances actuelles. Sur la base de ce bilan, des préconisations seront données, pour chaque zone de bordure, notamment dans les endroits pour lesquels la connaissance du contexte hydrogéologique est trop insuffisante ou mériterait d'être vérifiée.

2. Méthodologie

2.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR

2.1.1. Contexte topographique et limites du secteur

Les entités paysagères principales, à l'intérieur de chaque zone de bordure, sont décrites dans ce chapitre afin de faciliter le repérage géographique dans les chapitres suivants. Un effort particulier est fait pour détailler au mieux le positionnement des limites de chaque zone de bordure dans le paysage alsacien ainsi que les principaux cours d'eau qui s'y écoulent.

2.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur

Les zones de bordure de l'aquifère rhénan sont des secteurs dont les limites n'ont jamais fait l'objet d'une étude spécifique *sensu stricto*. Par zones de bordure, certains entendent en réalité les collines sous-vosgiennes qui bordent une bonne partie de l'ouest rhénan ou encore les zones au sein desquelles ont été mis en évidence des problèmes spécifiques et localisés de qualité des eaux souterraines.

Dans le cadre de la présente étude, il a été décidé de s'appuyer sur des travaux incomplets engagés par Elsass *et al.* en 2009 s'appuyant sur le modèle MoNit¹ (projet Interreg III, LUBW, 2002-2006) ainsi que sur les travaux d'optimisation du réseau de surveillance de l'APRONA (Urban *et al.*, 2010) qui ont permis de sectoriser la nappe d'Alsace en fonction des facteurs expliquant les signaux piézométriques. Cette étude est d'ailleurs la première à identifier, par une approche statistique, des zones pour lesquelles des flux de bordure latéraux expliquent une partie de l'hydrodynamisme de la nappe captée.

En complément de ces deux travaux, certains autres critères ont pu être considérés pour contraindre au mieux ces zones complexes du point de vue hydrogéologique, notamment :

- des critères d'ordre géologique (présence d'alluvions d'origine vosgienne, apparition d'alluvions rhénanes...);
- des critères d'ordre structural (failles supposées ou avérées mettant en relation alluvions vosgiennes et rhénanes);
- des critères d'ordre qualitatif (zone polluée avérée en nitrates et/ou produits phytosanitaires).

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

2.2.1. Description générale

De manière générale, ce qui est communément appelé « plaine d'Alsace » constitue le domaine des alluvions qui ont été déposées au Pliocène et au Quaternaire par les cours d'eau. Les

¹ Projet transfrontalier « Modélisation de la pollution par les nitrates (MoNit) dans la vallée du Rhin Supérieur » (cofinancé par le programme européen INTERREG III, maîtrise d'ouvrage LUBW)

matériaux qui les composent sont très hétérogènes et reposent sur un substratum marneux Oligocène. Les alluvions pliocènes ayant généralement perdu complètement ou partiellement leur forte teneur en Fer, se retrouvent décolorés et, par conséquent, deviennent parfois difficiles à distinguer des alluvions quaternaires (particulièrement les alluvions rhénanes).

La distinction entre alluvions vosgiennes et alluvions rhénanes est quant à elle plus aisée. Les alluvions vosgiennes sont constituées de galets, graviers et sables, plutôt rouges et nettement argileux. Ces éléments proviennent des roches cristallines et gréseuses de la chaîne vosgienne et ont été transportés par les rivières pour former leurs cônes de déjection au débouché des vallées vosgiennes. Les alluvions rhénanes sont caractérisées quant à elles par des galets, graviers et sables dont les éléments lithologiques dominants, calcaires, sont d'origine jurassienne et alpine (Rebouças, 1964). En outre, la présence de phanites serait un marqueur des graviers d'origine rhénane, ce qui n'a pas été confirmé depuis.

En raison des affaissements successifs du fossé rhénan, le Rhin et ses affluents ont, soit déposé leurs sédiments, soit creusé leurs cours dans leur propres alluvions. L'alternance de ces phases est d'ailleurs soulignée, actuellement, par l'allure des terrasses fluviales et des cônes de déjection parfois très étendus (Zorn, Bruche).

Dans les vallées, les alluvions sont constituées par les éboulis de pente et leurs épaisseurs et extensions s'accroissent en allant en direction de la plaine. Les dépôts alluvionnaires sont en grande partie recouverts d'une couche peu perméable, formée de fines particules de calcaire, quartz et argile et accumulées par les vents froids du Quaternaire que sont les loëss.

Pour chaque zone de bordure, une description générale du contexte géologique et structural est fournie sur la base, entre autres, des cartes géologiques au 1/50000^{ème}, des résultats du chantier « Vosges-Rhin » du Référentiel Géologique Français, des études réalisées localement référencées dans le fonds documentaire alsacien ou encore des coupes géologiques et techniques réalisées dans le cadre des programmes de la BRAR depuis 20 ans. En complément de cela, une description fine de la lithologie des formations géologiques rencontrées à l'affleurement est proposée, avec des ordres de grandeur sur leurs épaisseurs quand cela est possible.

2.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011)

Les programmes 2000-2003 et 2003-2006 de la BRAR ont été principalement consacrés à la cartographie des formations superficielles de la plaine rhénane. Ce projet avait pour objectif une représentation cartographique à l'échelle de 1/25000^{ème} de la couverture de l'aquifère de la nappe d'Alsace. Les travaux réalisés se sont appuyés sur les cartes existantes, géologiques (BRGM), agricoles (DDAF), topographiques (IGN), pédologiques (Guides des sols publiés par la Région Alsace) et diverses publications, notamment de l'Institut de Géographie de Strasbourg.

Les nombreuses sorties de terrain au cours des périodes favorables à la cartographie des formations superficielles ont permis de récolter 330 sondages à la tarière à main et dix sondages à la moto tarière sur l'ensemble de la zone d'étude couvrant plus de 1400 km².

Les formations superficielles les plus représentées sont les alluvions rhénanes et vosgiennes (limons, sables, graviers), les loëss des terrasses (plusieurs séquences d'âge et de propriétés différents), les tourbes des zones humides ou "Rieds".

Au final, un travail d'harmonisation entre les trois zones cartographiées (Sud, Centre et Nord incluant Strasbourg) a été réalisé en 2010 à partir de traitements SIG, de vérification sur le

terrain à la tarière à main et de validation des choix de représentation et nomenclature avec le géologue régional (Urban et Boucher, 2011).

Une carte homogène sur l'ensemble de la nappe d'Alsace a ainsi pu être réalisée (cf. Illustration 1). La carte comprend trois couches numériques : remblais, couverture de l'aquifère et aquifère lui-même, renseignées par divers attributs. Cette cartographie a été réalisée dans le but de permettre la création de cartes de temps de transfert des polluants et d'en dériver des cartes de vulnérabilité de la nappe.

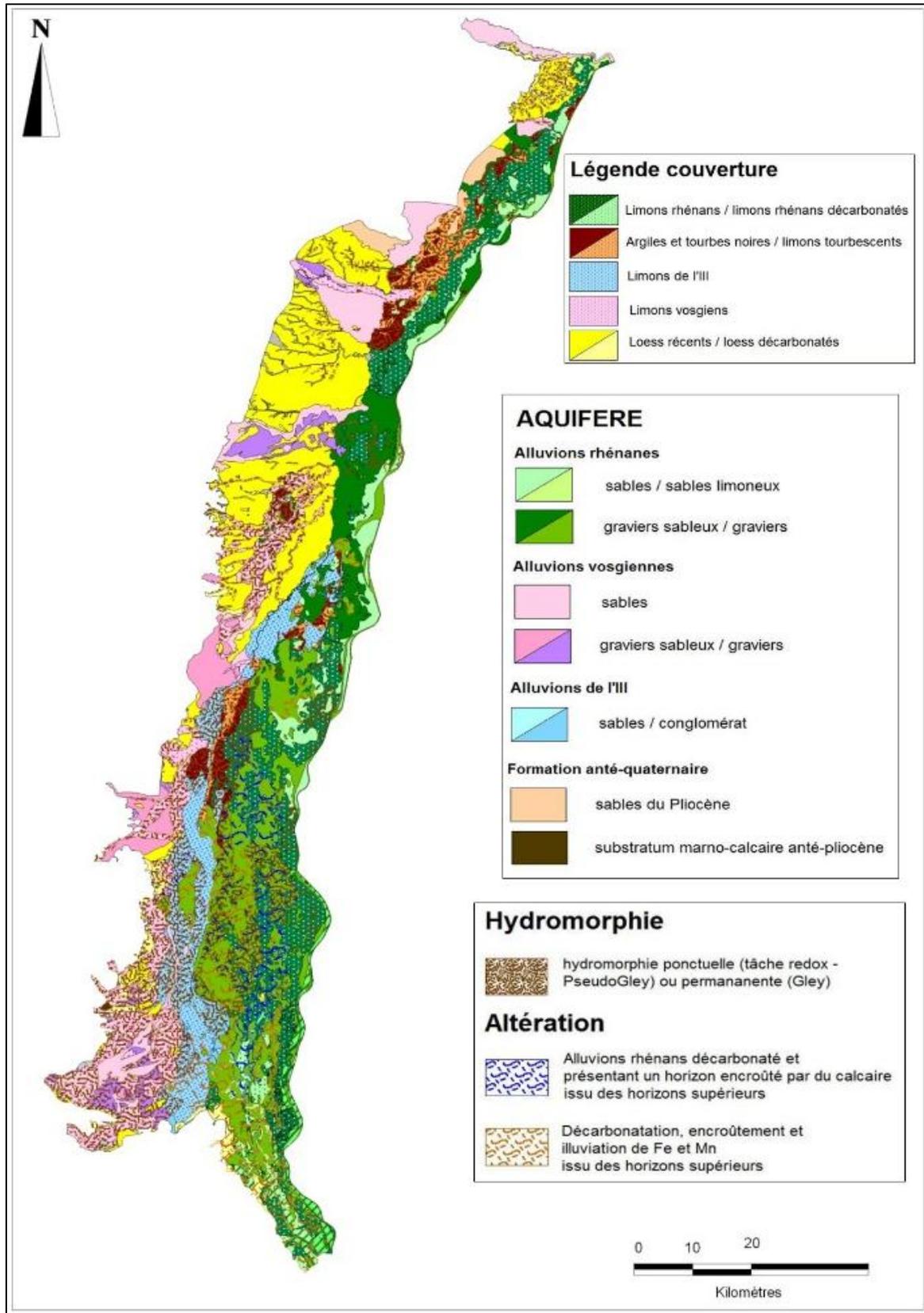


Illustration 1 : Cartographie des formations superficielles de la plaine d'Alsace (Urban et Boucher, 2011 - Programme BRAR Région Alsace 2011-2014)

L'étude menée dans le cadre de cette cartographie fait ressortir le fait que les lœss, qui sont par ailleurs très présents et souvent très épais au sein des zones de bordure étudiées, ne constituent pas un véritable écran protecteur vis à vis des infiltrations polluantes vers l'aquifère sous-jacent. Ils ont une perméabilité de matrice fine poreuse. Les lœss fins peuvent conserver l'humidité plusieurs jours, voire plusieurs semaines après une pluie de plusieurs millimètres. La progression des infiltrations sera rapide dans les lœss riches en silts grossiers, plus lente dans les lœss fins et argileux où les propriétés absorbantes des smectites peuvent jouer un rôle d'étanchéité. Mais ce rôle est probablement limité puisque les smectites ne constituent le plus souvent guère plus de 5% du lœss.

D'après Birtler et Elsass (2006), lorsque les lœss sont épais et recouvrent une formation de faible perméabilité telle que les marnes oligocènes ou un aquifère entièrement gorgé d'eau, leur partie inférieure peut être aquifère de façon pérenne. Dans les vallons, le drainage de cet aquifère est assuré par des sources assez diffuses et de faible débit donnant souvent naissance à des ruisseaux temporaires.

D'après une étude réalisée sur les lœss de la terrasse d'Obernai (Richert, 2004), la présence de lœss épais est un facteur de retardement du transfert des polluants. La vitesse de transfert des nitrates est estimée par cette étude entre 20 et 50 cm par an. Dans ce cas, lorsque la couverture lœssique est épaisse de 10 à 20m, comme c'est souvent le cas en zone de bordure, l'effet de retard dû à l'infiltration des eaux peut largement dépasser les 20 à 40 ans. Un délai moyen est cependant particulièrement difficile à estimer, du fait de l'extrême variabilité de l'épaisseur de ces lœss dans les zones où ils affleurent (Elsass et Surdyk, 2009).

2.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

2.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA

Dans le cadre du référentiel national hydrogéologique BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères), des travaux menés en Alsace (Urban *et al.*, 2013) ont permis de mieux cerner l'organisation verticale des formations d'intérêt du point de vue hydrogéologique sur le territoire alsacien.

Pour rappel, l'objectif principal de ce type de référentiel est de décrire les entités hydrogéologiques présentes sur le territoire afin de constituer un référentiel national permettant de localiser des données relatives à l'eau souterraine. Il se présente sous la forme de couches cartographiques et de tables associées à chaque entité hydrogéologique. La version utilisée dans le cadre de la présente étude est la version 0, diffusée en 2013.

Ce référentiel a succédé à l'ancien référentiel hydrogéologique BDRHF V1 car ce dernier souffrait d'un manque d'homogénéité et parfois de précision des découpages des entités hydrogéologiques, de l'absence de hiérarchisation entre les entités et du manque de représentation cartographique des entités non affleurantes (pour les structures multicouches des bassins sédimentaires en particulier). De plus, le travail d'élaboration de la BDLISA a permis :

- De tenir compte de l'évolution des connaissances géologiques et hydrogéologiques, notamment à travers l'harmonisation des cartes géologiques au 1/50000^{ème}, ce qui a permis de préciser la délimitation des entités hydrogéologiques et
- De permettre d'accéder à la dimension verticale des entités hydrogéologiques qui se superposent. Autant que possible, l'organisation verticale des couches est d'ailleurs décrite pour chaque zone de bordure étudiée.

2.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères

Les caractéristiques des aquifères prépondérants dans les zones étudiées sont détaillées sur la base des informations collectées dans la BSS-Eau. Cette dernière a par ailleurs intégré l'ensemble des données qui ont été capitalisées dans le cadre des différentes conventions BRAR.

Ainsi, quand elles sont disponibles, les valeurs de caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère résultant des pompages d'essai (transmissivités, perméabilités, débits critiques...) sont présentées pour chaque zone étudiée.

De même, des informations sur le battement de la nappe, estimé principalement par le biais des chroniques de piézométrie du chapitre 2.4.2 ou encore ses modalités de recharge, surtout sur la base d'études locales, sont également fournies.

2.3.3. Détermination des directions d'écoulement souterrain

Un croisement entre le Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu de la BDAI^{ti} (©IGN) et la grille nationale d'épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS), calculée par le BRGM en novembre 2011 (cf. Illustration 2) pour des problématiques de remontée de nappe (Allier *et al.*, 2011), a permis de définir les grands bassins versants souterrains en situation de moyennes eaux. Ceux-ci sont en effet délimités en fonction des lignes de partage des eaux souterraines qui ont pu être tracées grâce à des outils SIG.

Les lignes de courant principales, également tracées sur logiciel SIG, donnent un bon aperçu des principales directions prises par les écoulements souterrains, même si ce calcul reste très dépendant de la précision des données cartographiques d'entrée, qui peut être sensiblement variable selon les secteurs d'une même zone de bordure.

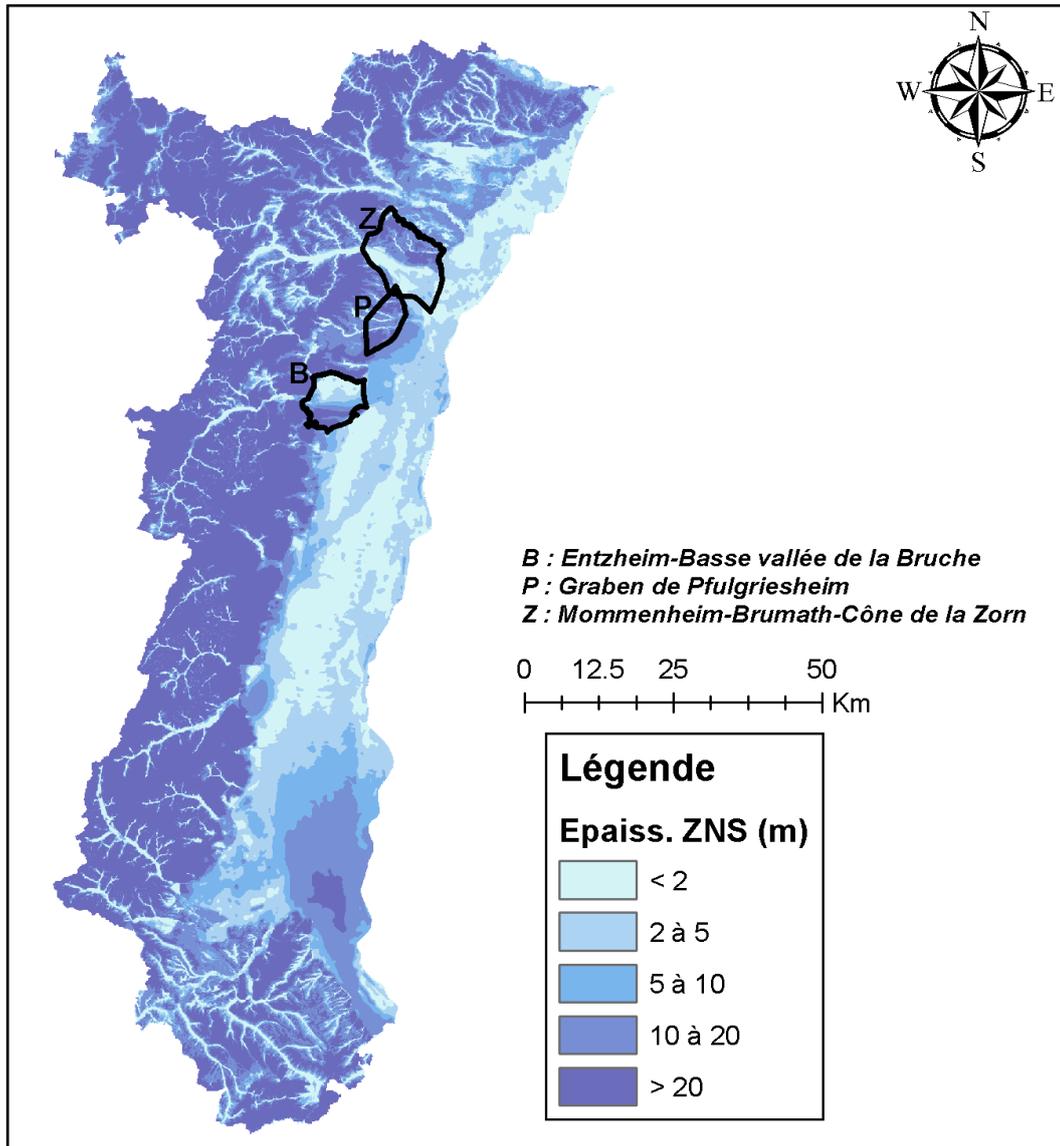


Illustration 2 : Grille d'épaisseur de ZNS en région Alsace (d'après Allier et al., 2011)

La partie alsacienne de cette grille de résolution 100 m, a été réalisée à partir :

- De la carte piézométrique de la nappe d'Alsace en situation de Moyenne Eau 2009 de l'APRONA ;
- Des points d'eau de la BSS et de la banque ADES (avec application d'un poids plus important pour ces derniers dont les mesures sont particulièrement fiables) dans les zones moins bien renseignées par la carte piézométrique ;
- Des cours d'eau de la BD Carthage® pour astreindre l'épaisseur de ZNS à 0 m au niveau des linéaires des cours d'eau connus pour être non perchés.

Cette grille d'épaisseur de ZNS ne concerne que la première nappe rencontrée en tout point du territoire. En l'absence de carte piézométrique, les épaisseurs de ZNS calculées sur certains secteurs à faible densité de points d'eau avec niveau piézométrique, peuvent ne pas forcément être en cohérence avec la réalité. De même, les nappes perchées localement peuvent ne pas avoir été toutes prises en compte lors du calcul d'interpolation (ce qui serait le cas au sein des collines de Brumath).

Une seconde étape consiste ensuite à comparer ces bassins versant souterrains avec les bassins versants de surface des principaux cours d'eau recensés dans les zones étudiées, issus de la BD Carthage 2012. Le but est d'identifier les zones remarquables qui participent, par infiltration et/ou ruissellement en surface, à l'alimentation de la zone étudiée. Cette démarche aboutit à l'établissement d'une typologie de ces zones remarquables, selon qu'elles contribuent en souterrain uniquement, en surface uniquement, des deux manières ou bien aucunement, à l'alimentation de la nappe considérée.

Au préalable, la cohérence des tracés des bassins versants de surface de la BD Carthage 2012 avec les côtes altimétriques du MNT de la BDAlti a été vérifiée. Une correction a ainsi pu être réalisée sur le tracé du bassin versant de la Bruche.

2.3.4. Relations nappe-rivière et inter-nappes

Ce chapitre synthétise principalement les connaissances établies, à l'issue d'études locales, sur les relations entre les nappes considérées et les cours d'eau présents dans la zone de bordure mais également, et quand cela est possible, les éventuelles connections existantes entre deux nappes superposées.

Il s'appuie également sur les résultats d'une étude nationale d'identification des potentielles zones de connexion nappe/rivière, par une approche expérimentale sur les piézomètres de la banque ADES (Brugeron *et al.*, 2012). Cette étude, menée sur l'ensemble du territoire national, a consisté à (i) associer chaque piézomètre ADES avec le tronçon de cours d'eau potentiellement en relation avec la nappe captée, (ii) qualifier cette relation en fonction de plusieurs critères dont la distance entre le piézomètre et le cours d'eau, les côtes min/max/moyennes de la nappe et du cours d'eau, le gradient hydraulique induit, la nature du signal piézométrique...etc..., (iii) définir le sens de l'échange (vers la nappe, vers le cours d'eau ou variable selon la saison) et (iv) estimer le degré d'incertitude sur l'existence ou non de cette relation nappe/cours d'eau.

Le résultat cartographique pour le département du Bas-Rhin, dont les trois zones de bordure étudiées font partie, est présenté dans l'illustration 3 ci-dessous.

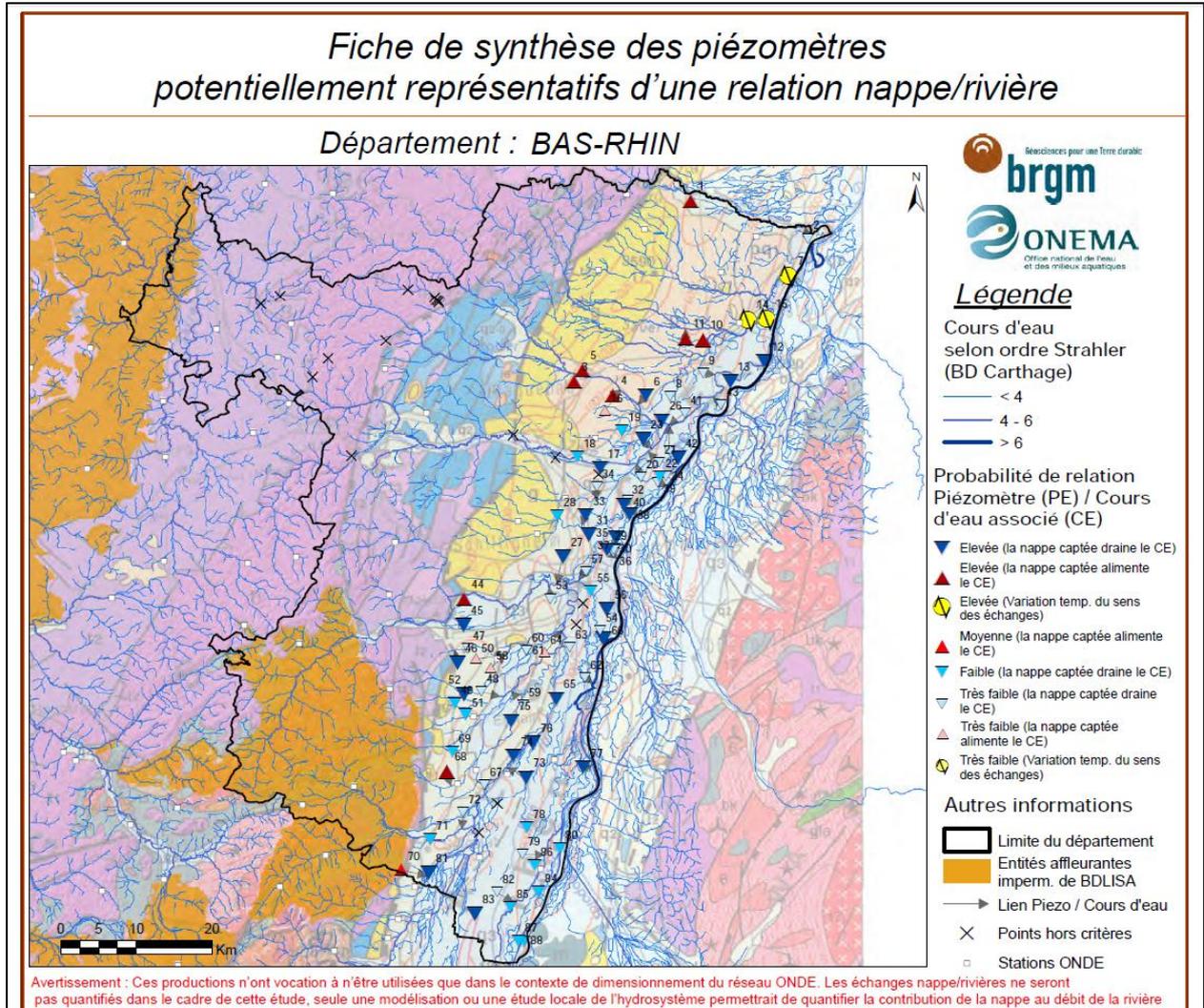


Illustration 3 : Extrait de la fiche de synthèse des piézomètres potentiellement représentatifs d'une relation nappe/rivière pour le département du Bas-Rhin (d'après Brugeron et al., 2012)

2.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR

Un recensement des points d'eau localisés à l'intérieur ou à proximité de la zone de bordure étudiée, est réalisé. Ce travail est mené en s'appuyant sur la Banque nationale de Données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM, et plus particulièrement sa déclinaison relative aux informations sur les eaux souterraines qu'est la BSS-Eau. Les informations contenues dans ces bases sont issues des déclarations faites au titre du Code Minier ou du code de l'Environnement.

Des distinctions sont faites selon l'usage qui est fait de l'ouvrage ; captage pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP), ouvrage associé à un réseau de suivi piézométrique ou qualité. Chacun de ces usages donne des informations spécifiques sur la nappe captée.

2.4.1. Captages AEP

Les points d'eau détaillés dans ce chapitre sont intégrés dans le **référentiel des captages d'eau destinée à la consommation humaine, captages en eau souterraine et en eau de**

surface continentale (rivières, lacs). Ce référentiel répond à une des exigences de l'article 6 de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau), qui demande la communication de la liste des zones protégées. Le référentiel des captages d'eau souterraine est élaboré à partir de champs issus d'une part de la base de données du ministère en charge de la Santé SISE-Eaux (Système d'information en santé environnement sur les eaux) et d'autre part de ceux de la banque de données du BRGM BSS-EAU. Les informations, provenant de ces bases de données, sont mises en relation par le code installation SISE-Eaux et le code BSS.

Comme ce référentiel s'appuie sur une liste des captages AEP, fournie et mise à jour seulement tous les six mois par le ministère en charge de la Santé, un travail de vérification a donc été réalisé en complément. Ont donc été intégrées dans ce chapitre, les conclusions des derniers rapports annuels du Syndicat des Eaux et de l'Assainissement d'Alsace-Moselle (SDEA) qui gère l'ensemble des captages AEP recensés dans les trois zones de bordure de la présente étude. Ces rapports apportent des informations précieuses, à la fois sur la productivité des ouvrages mais également sur les caractéristiques en terme de qualité des eaux captées (cf. chapitre 2.4.3).

2.4.2. Piézomètres (ADES et hors ADES)

Les ouvrages ayant fait (ou faisant toujours) l'objet d'un suivi continu de leur niveau piézométrique sont recensés dans ce chapitre. Deux sources de données sont utilisées pour ce recensement :

- La banque nationale d'**Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES)** qui rassemble sur un site Internet public des données quantitatives relatives aux eaux souterraines, avec comme objectif de mettre à disposition les données des différents réseaux de suivi de l'état patrimonial des ressources en eau souterraine. Les données collectées dans le cadre du réseau de suivi piézométrique des eaux souterraines de la région Alsace, sous Maitrise d'œuvre de l'APRONA, y sont notamment présentes ;
- La **BSS-Eau** qui intègre, depuis 2013, les données historiques associées à la piézométrie (niveaux d'eau et informations associées sur les repères de mesure), saisies et gérées par les directions régionales du BRGM mais qui n'ont pas forcément été intégrées dans un réseau de suivi *sensu stricto*. Dans le cadre des différentes conventions BRAR, un réel effort de capitalisation de ce type de données a été fait. De ce fait, les nombreux points qui ont fait l'objet d'un suivi dans les années 1960 à 1990 ont pu être valorisés. Ces données ont permis d'augmenter sensiblement le nombre de chroniques piézométriques exploitables pour la suite.

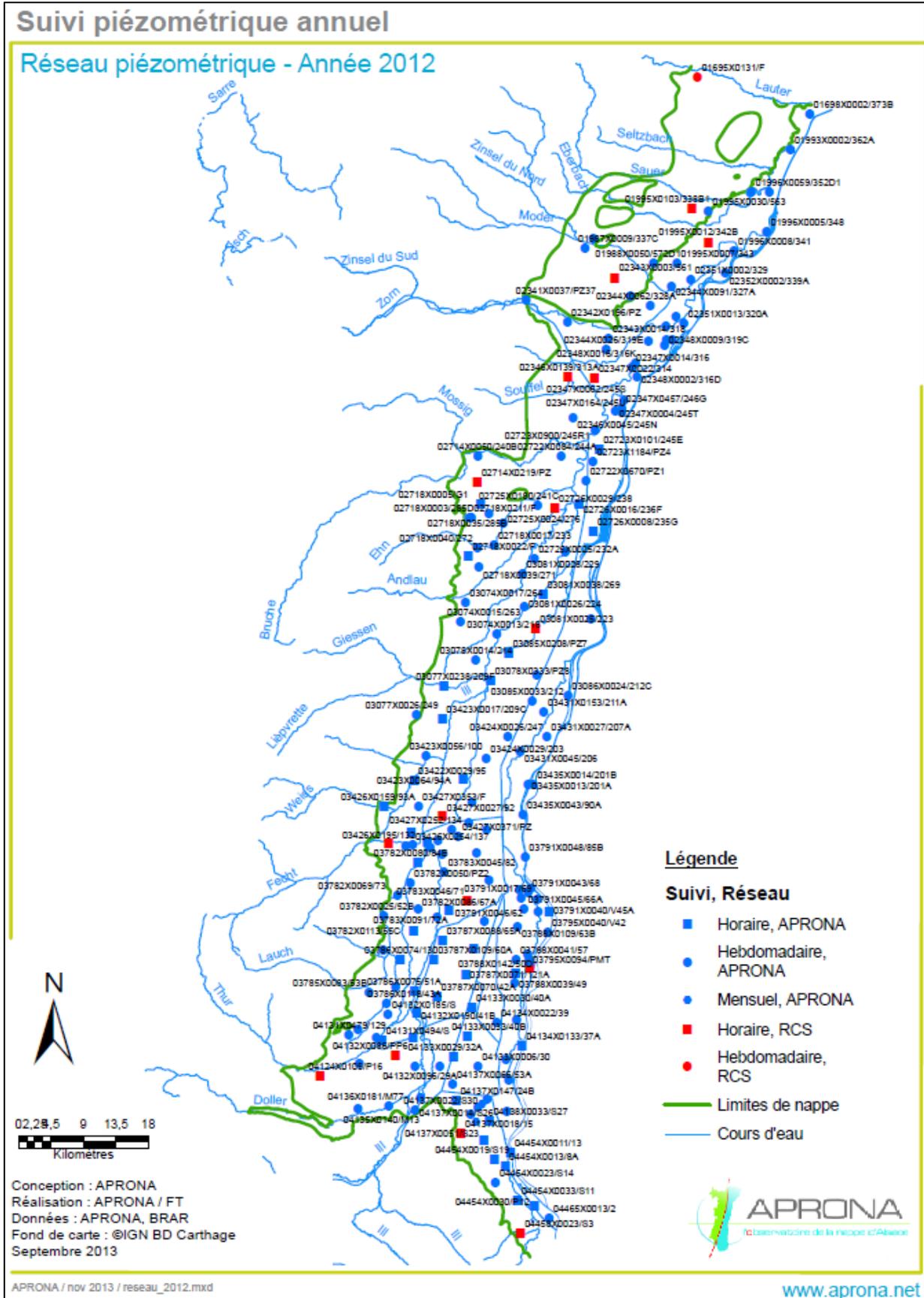


Illustration 4 : Réseau piézométrique de l'APRONA (Toulet F., Lihmann D., 2013)

En parallèle sont également collectées les chroniques de débits des cours d'eau associés aux zones de bordure et issues de la Banque HYDRO, la banque de données nationale qui stocke les mesures de hauteur d'eau et de débit (à pas de temps variable) en provenance des stations de mesure implantées sur les cours d'eau français.

L'analyse de ces données piézométriques et leur confrontation avec les chroniques de débits des cours d'eau permettent ainsi de réaliser une première sectorisation des zones étudiées, en fonction des caractéristiques des signaux mesurés dans les piézomètres (cyclicité annuelle ? pluriannuelle ? battement ? coïncidence ou décalage du signal avec la chronique de débit ?...).

2.4.3. Qualitomètres

Les ouvrages ayant fait (ou faisant toujours) l'objet d'un suivi continu de la qualité de la nappe captée sont recensés dans ce chapitre. La source de données principale utilisée pour ce recensement est la banque nationale **ADES** qui rassemble également les données qualitatives relatives aux eaux souterraines. Les trois principaux réseaux de suivi qualité faisant partie de cette banque de données et ayant une densité suffisante de points d'eau au sein des zones de bordure sont :

- le réseau pour les « inventaires transfrontaliers de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan en plaine d'Alsace » (cf. Illustration 5), sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace (réseau n°0200000015) ;
- le « Réseau qualitatif des eaux souterraines pour le suivi des installations classées pour la région Alsace (ICSP) », sous maîtrise d'ouvrage de la DREAL Alsace (réseau n°0200000036) ;
- le « réseau national de suivi au titre du contrôle sanitaire sur les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable », sous maîtrise d'ouvrage du ministère de la santé (réseau n°0000000028).

Pratiquement tous les qualitomètres recensés dans les zones de bordure appartiennent à minima à l'un de ces trois réseaux.

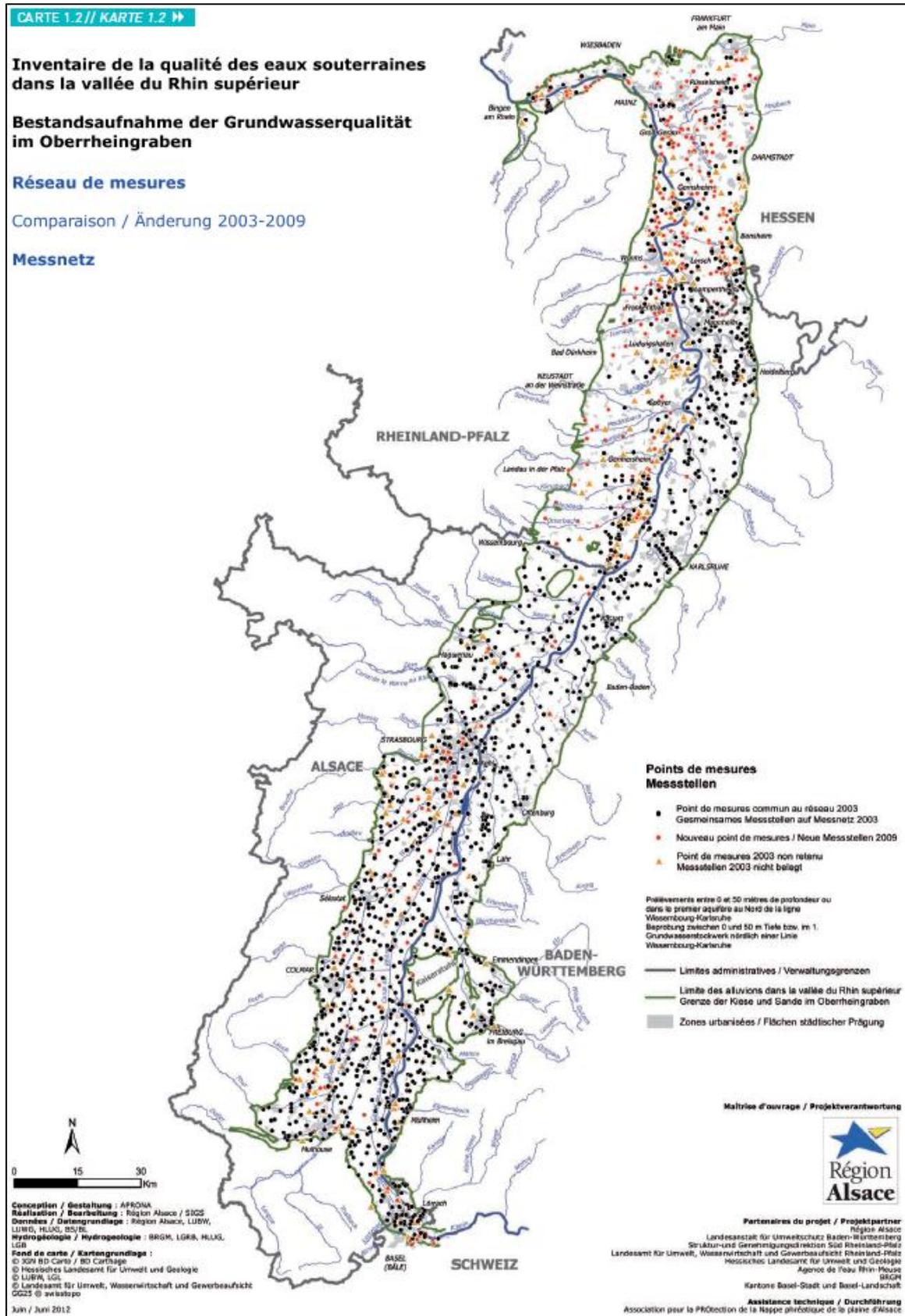


Illustration 5 : Carte des points de mesures du réseau de l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan en plaine d'Alsace (Région Alsace, 2012)

Cette base de données apporte des informations très précises sur la localisation de certaines des activités agricoles majeures de la région en identifiant les parcelles de vignes, celles de cultures du houblon ou bien celles au sein desquelles des vergers traditionnels ou intensifs sont exploités.

Afin d'apporter des précisions sur les autres pratiques agricoles au sein des zones de bordure, et notamment les cultures annuelles, ces informations ont dues être complétées par :

- les différentes synthèses paysagères menées par l'Agence de Développement Et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourgeoise (ADEUS), dans le cadre du Référentiel paysager du Bas-Rhin ;
- l'atlas « Une Agriculture Alsacienne aux Multiples Visages » réalisé par la DRAAF Alsace en 2014 et basé sur le Recensement agricole de 2010.

Ce dernier donne de précieuses informations sur la répartition géographique des parcelles de vigne, de blé, de maïs, de betterave à sucres, de chou à choucroute, de tabac, de vergers ou sur les prairies permanentes ou temporaires (cf. Illustration 7).

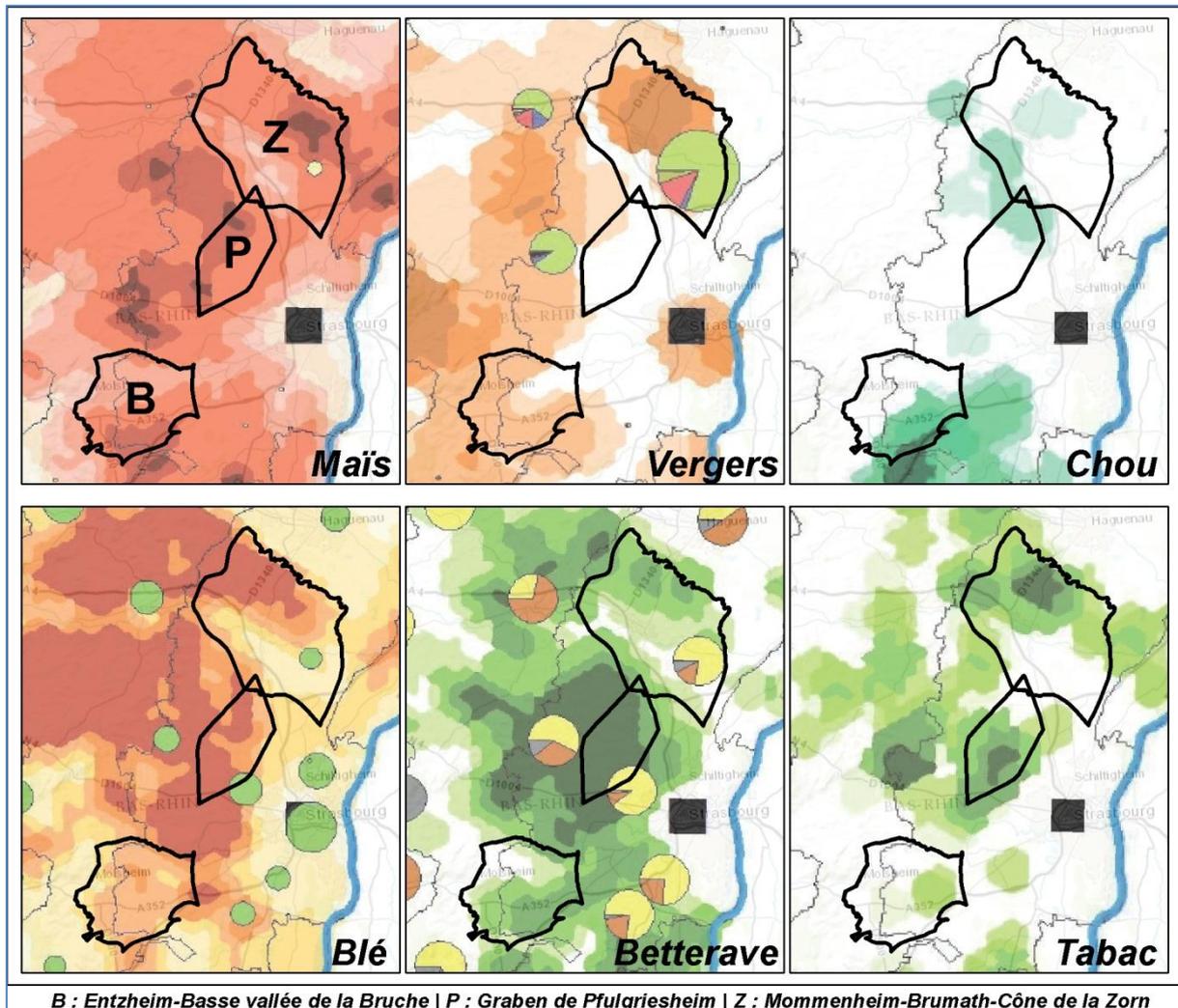


Illustration 7 : Densité de surface cultivée en fonction du type de pratique – centrée sur les trois zones de bordure de la présente étude (d'après l'atlas agricole de la DRAAF Alsace, 2014)

2.5.2. Comparaison épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS) et IDPR

L'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) est un indice cartographique qui permet de rendre compte de façon indirecte de la capacité intrinsèque des formations du sous-sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de pluie. Cette notion d'infiltration est requise dans l'élaboration de toute carte de vulnérabilité et l'IDPR peut se substituer à de nombreux critères usuellement employés. **Cet indice peut ainsi mettre en exergue les secteurs où une eau polluée peut rapidement s'infiltrer dans le sol pour atteindre la nappe sous-jacente.**

Il est calculé à partir de la BD Carthage pour la prise en compte du réseau hydrologique naturel (état et type d'écoulements, nature des axes hydrographiques) et du MNT de la BD Alti pour définir le réseau théorique des écoulements par l'analyse des talwegs. Sur le principe que l'organisation du réseau hydrographique est dépendant des formations géologiques (lithologie, structure) qui le supportent, la densité de drainage est révélatrice des formations et permet la substitution des données liées à la perméabilité des sols et sous-sol. Cette approche indirecte permet de s'affranchir de la détermination de critères tels que la perméabilité de l'aquifère, la nature de la ZNS et du sol ou la cartographie des discontinuités. Les étapes de calcul de cet indice sont décrites plus en détail dans le rapport de Mardhel et Gravier (2005). Un calcul IDPR à l'échelle du bassin Rhin-Meuse a pu être réalisé par Mardhel en 2010. L'extrait de cette carte centrée sur l'Alsace est présenté dans l'illustration 8 ci-dessous.

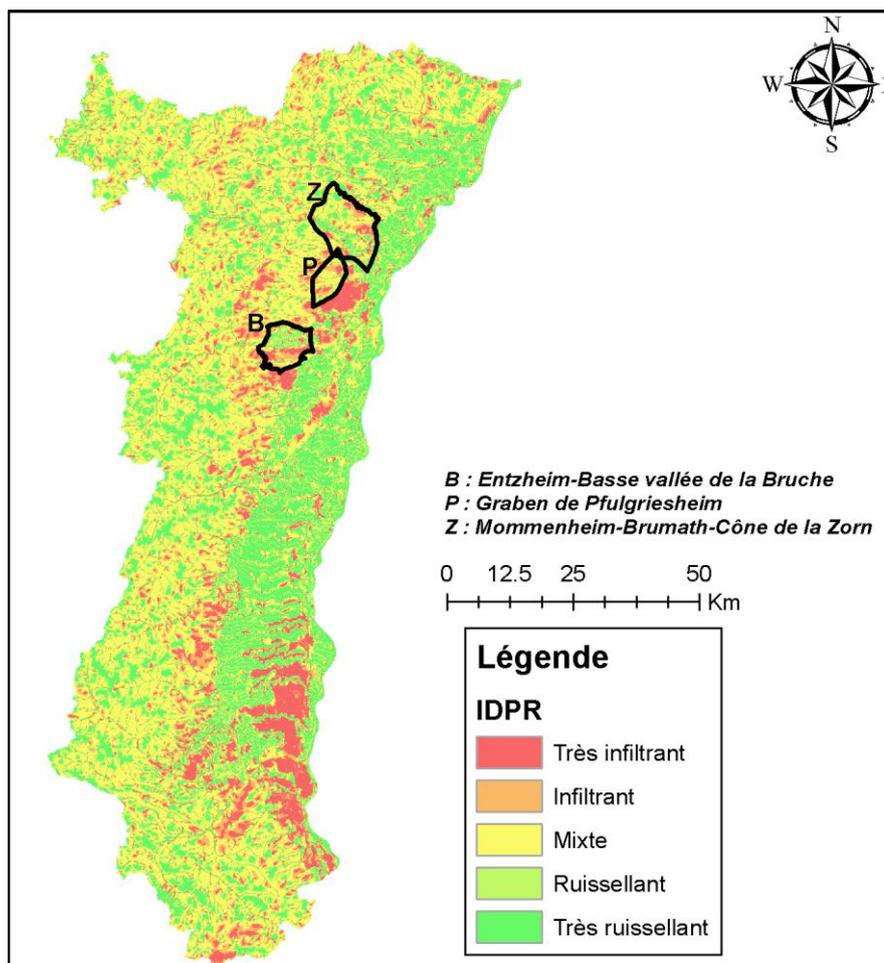


Illustration 8 : Carte IDPR en région Alsace

Un autre critère à considérer pour caractériser la vulnérabilité d'une nappe est l'épaisseur de la ZNS (déjà décrite dans le chapitre 2.3.3). En effet, dans un milieu continu ou assimilé continu, la vulnérabilité de l'aquifère vis-à-vis des pollutions diffuses diminue avec la profondeur à laquelle il se trouve.

De ce fait, comparer l'IDPR avec la grille d'épaisseur de ZNS revient à distinguer des sous-secteurs selon une hiérarchie relative à la vulnérabilité des premières nappes rencontrées. Cette hiérarchisation, réalisée pour chaque zone de bordure, a permis de cibler les zones prioritaires en matière de protection de la ressource.

2.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan (Région Alsace, 2012)

Il est ensuite intéressant de confronter les données d'occupation du sol et les premières constatations sur les zones plus vulnérables avec le résultat de l'inventaire 2009 de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan (Région Alsace, 2012), en ciblant plus particulièrement les teneurs en nitrates.

En effet, ces dernières ont fait l'objet d'une restitution sous forme de carte interpolée (cf. Illustration 9) qui peut facilement être superposée avec les différentes cartes établies, pour chaque zone de bordure, tout au long de son étude.

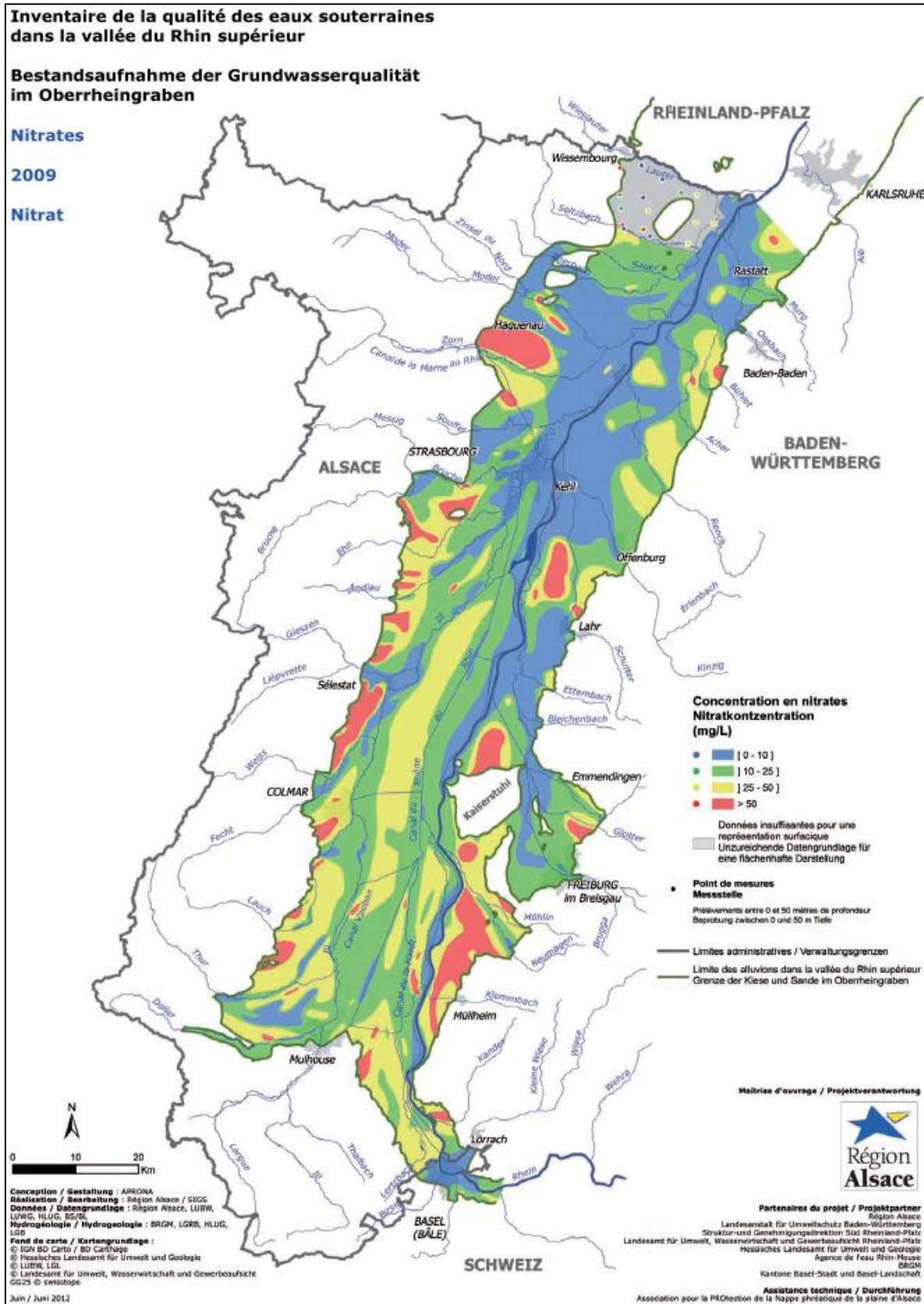


Illustration 9 : Carte nitrates issue de l'Inventaire 2009 de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur (Région Alsace, 2012)

2.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & PRECONISATIONS/RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE

Ce dernier chapitre permet (i) de tirer le bilan des connaissances actuellement disponibles sur chacune des zones de bordure, (ii) de faire des recommandations sur des travaux complémentaires à mener dans des secteurs ciblés car historiquement mal connus, (iii) de préconiser la mise en place de dispositifs de surveillance afin de se réappropriier la connaissance de certaines zones qui ont pu être délaissées.

3. Secteur Graben de Pfulgriesheim

3.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR

3.1.1. Contexte topographique et limites du secteur

La zone de bordure dite du « Graben de Pfulgriesheim » est située en partie Sud-Est de la haute terrasse du **Kochersberg**. Elle est plus spécifiquement bordée :

- au Nord-Est, par l'extrémité Sud-Ouest du **cône de déjection de la Zorn**,
- au Sud et Sud-Est, par une ligne de collines connues sous le nom de **Collines de Hausbergen**, qui sépare le graben de la **terrasse de Schiltigheim** au Nord-Ouest de Strasbourg, cette dernière formant un niveau dominant, d'une dizaine de mètres, la vallée de l'Ill et du Rhin,
- à l'Ouest et au Nord-Ouest, par des failles supposées décrites plus en détail dans le chapitre 3.2.1.

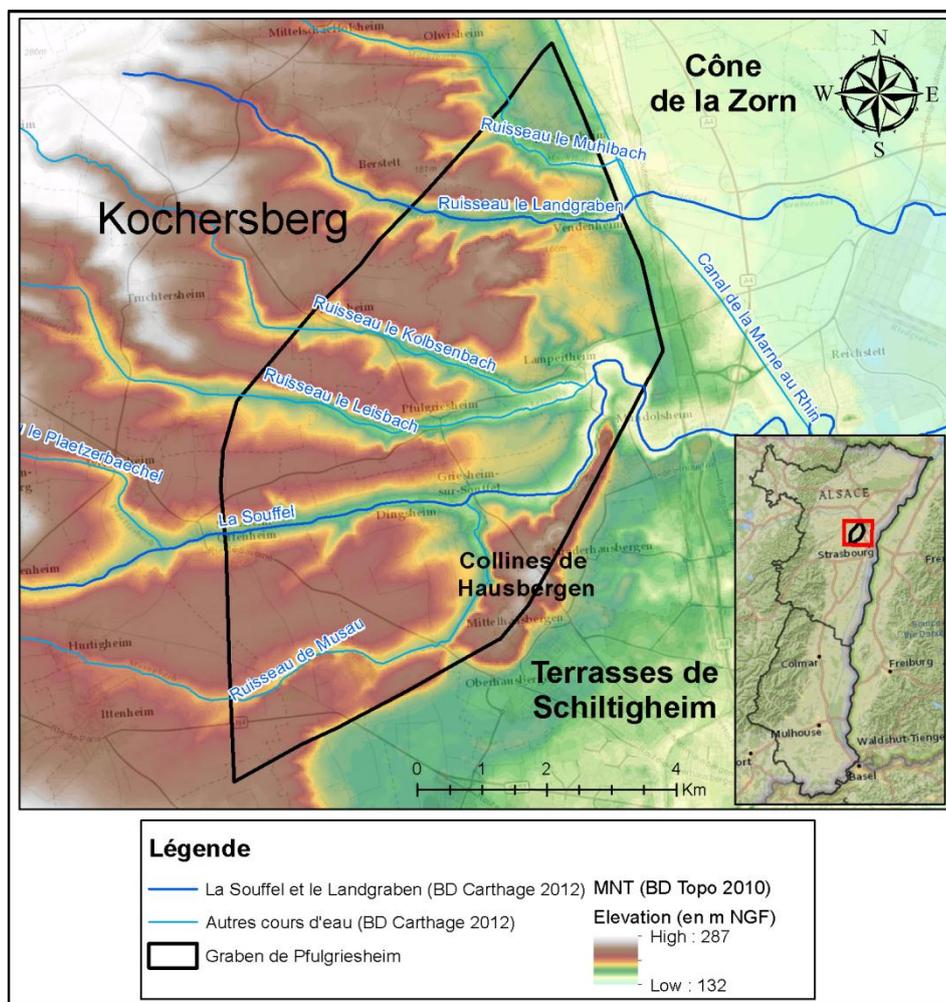


Illustration 10 : Localisation du secteur par rapport aux grands ensembles géo-morphologiques situés à l'Ouest de Strasbourg, Carte d'élevation topographique et localisation des cours d'eau (MNT : Modèle Numérique de Terrain)

Le Kochersberg, dans le prolongement ouest de ce graben, se présente comme un plateau régulièrement incliné vers l'Est, d'une altitude moyenne de 180 m et entaillé par des vallons fonctionnels parallèles, de direction générale Ouest-Est. Ces ruisseaux assez régulièrement espacés prennent naissance sur le rebord du Champ de fractures de Saverne (Arrière-Kochersberg) et s'écoulent en direction de la plaine rhénane.

Soumis vraisemblablement à l'influence des failles bordières du plateau, les cours d'eau rencontrés dans le graben de Pfulgiesheim se rassemblent en deux drains seulement :

- le Musau, le Leisbach et le Kolbsenbach qui rejoignent la Souffel ;
- le Muhlbach qui rejoint le Landgraben

En entaillant le plateau, les ruisseaux ont dessiné un paysage vallonné mollement ondulé, oscillant entre 180 et 200 m d'altitude et ayant une organisation digitée.

Les collines de Hausbergen ressortent tout particulièrement en bordure Sud-Est du secteur tout comme l'extrémité Sud de la terrasse sableuse de la Zorn en bordure du canal de la Marne au Rhin.

3.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur

Cette zone de bordure est composée du même matériau que les secteurs situés plus à l'Est, qui sont associés à l'aquifère rhénan, à savoir des alluvions anciennes d'origine rhénane. Néanmoins, d'autres hypothèses étaient avancées, à tort, jusqu'à peu (affleurement de formations de l'Oligocène) et de ce fait, cette zone n'était pas entièrement considérée dans le modèle hydrodynamique de l'aquifère rhénan réalisé dans le cadre du projet Interreg III MoNit (LUBW, 2002-2006). Ceci a cependant été corrigé, dans le cadre du projet Interreg IV LOGAR (Région Alsace, 2009-2012), et la limite Ouest du modèle mis à jour intègre désormais le graben dans sa globalité supposée.

En 2009, s'appuyant notamment sur le modèle MoNit, un travail, réalisé à petite échelle mais demeuré inachevé (Elsass, 2009), avait permis une première délimitation de certaines zones de bordure. Dans le secteur de Pfulgiesheim, le résultat ne considérait ainsi que la moitié Est du Graben (cf. Illustration 11 – secteur hachuré en jaune), la limite Ouest de ce zonage correspondant à la limite du modèle qui coïncide avec le lit de la Souffel. En rive gauche de ce cours d'eau, la zone entre Pfulgiesheim et Pfettisheim était considérée comme une zone où les marnes de l'Oligocène étaient sub-affleurantes (cf. Illustration 12) et donc en dehors du modèle.

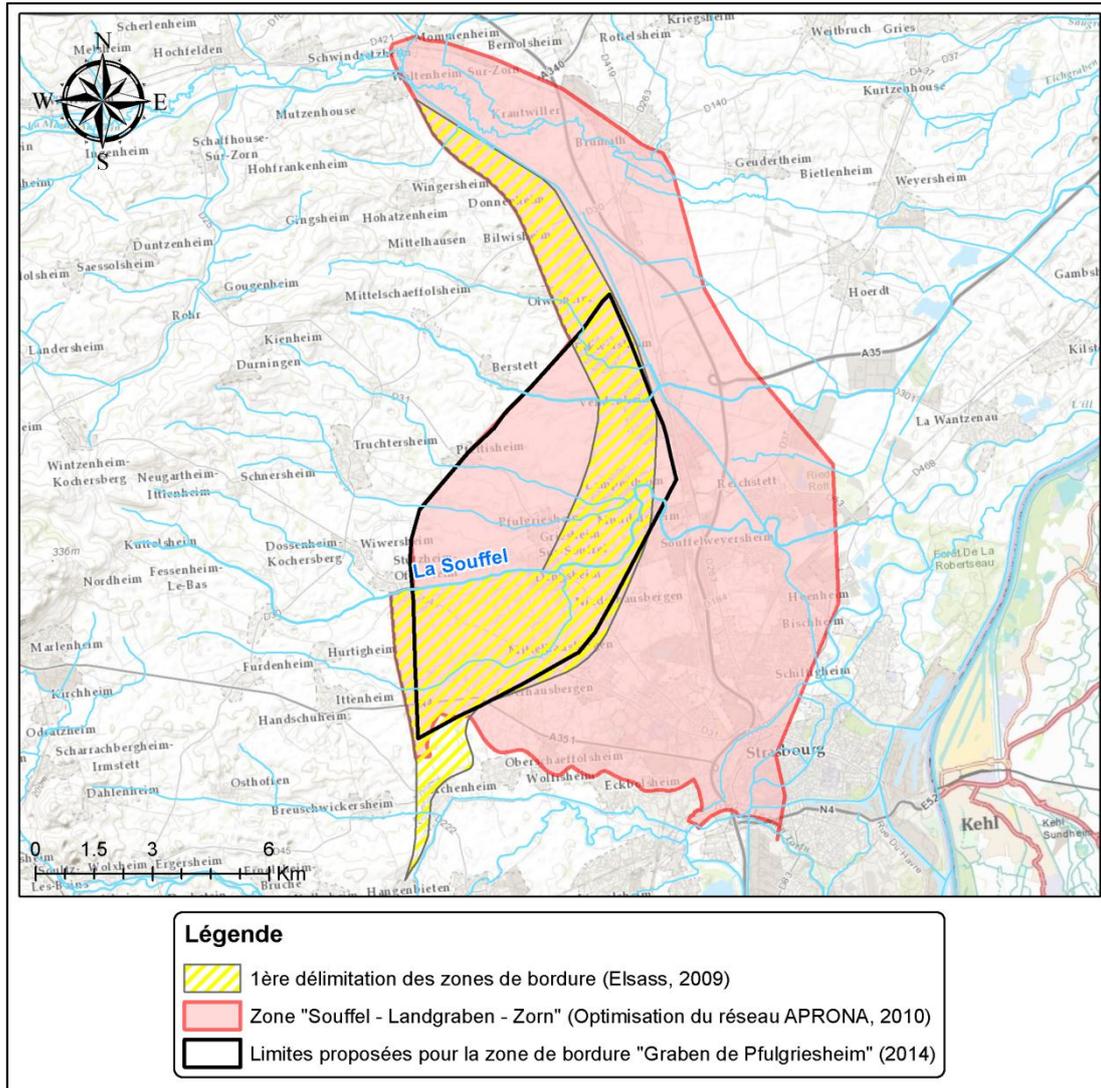


Illustration 11 : Les évolutions dans la définition d'un zonage homogène dans le secteur du graben de Pfulgriesheim à travers trois études (Elsass, 2009 – Urban *et al.*, 2010 – Présente étude, 2014)

En 2010, les travaux d'optimisation du réseau de surveillance de l'APRONA (Urban *et al.*, 2010) ont permis de définir une large zone homogène du point de vue des facteurs expliquant les signaux piézométriques (cf. Illustration 11 – secteur en rouge). Cette zone réunit les parties avales des bassins versants de la Souffel, et du Landgraben et la partie amont du cône de la Zorn. Selon ces travaux d'analyse statistique, ces trois rivières influencent fortement les eaux souterraines et expliqueraient au moins 30% du signal piézométrique observé dans ce secteur. Néanmoins, ce facteur « rivière » n'expliquant pas tout, ces travaux ont également mis en lumière un autre facteur contributif non négligeable dans cette zone. Celui-ci correspondrait, selon toute hypothèse, à des apports latéraux particuliers, du type flux de bordure venant de l'Ouest.

Les contours de la zone de bordure *sensu stricto* proposés pour la présente étude (cf. Illustration 11 – secteur bordé en noir) s'appuient donc sur les zonages précités mais également sur des critères d'ordre géologique et structural (zone d'alluvions rhénanes anciennes délimitée par des failles supposées ou avérées - cf. chapitre 3.2). Les secteurs au Nord et au Sud du graben sont associés aux deux autres zones de bordure étudiées dans les chapitres 4 et 5.

3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

3.2.1. Description générale

La zone du graben de Pfulgiesheim est un pays loessique. A cet endroit, le loess a été déposé sur un bloc tectonique intermédiaire par suite de la déflation éolienne sur les cônes des affluents vosgiens du Rhin que sont la Bruche et la Zorn, au cours de phases climatiques froides du Quaternaire (végétation de steppe).

D'après la carte géologique au 1/50000^{ème} (BRGM, 1972), les formations affleurantes en question sont des loess et lehms (loess décalcifiés) anciens et récents indivisés, datés du Pléistocène (cf. Illustration 12).

D'un point de vue structural, les travaux menés dans le cadre de l'élaboration de cette carte géologique au 1/50000^{ème} ont permis la mise en évidence de plusieurs failles en bordure Est et Sud-Est du graben :

- un système de failles d'orientation S.SW-N.NE² entre Mundolsheim et Oberhausbergen (« Failles de Niederhausbergen ») borde le horst étroit des collines de Hausbergen. Cette ligne de faille est masquée par les dépôts loessiques plus récents et présenterait un rejet de l'ordre de 30m (Frey, 2006). L'analyse des sondages, ainsi que la cartographie des formations quaternaires a permis de la dater du Mindel-Riss ou du début du Riss. A l'époque cette faille avait d'ailleurs été mise en évidence, dans la région de Mundolsheim, car un dépôt du Quaternaire ancien, retrouvé à l'Ouest de la faille, faisait défaut à l'Est de la faille. Le compartiment affaissé à l'Est n'est constitué que de dépôts alluviaux et éoliens rissiens ; sur le compartiment gauchi, seuls se rencontrent des dépôts éoliens (BRGM, 1972).
- au Nord de Mundolsheim, la faille décrite précédemment présente une échancrure N.NW puis, à partir de Vendenheim (« Faille de Vendenheim »), elle reprend une direction presque méridienne avant de s'infléchir, plus au Nord, vers l'Est, à partir de Donnenheim jusqu'à Krautwiller.

Des travaux menés dans le cadre de la BRAR sur le substratum de la nappe d'Alsace (Elsass, 2009) ont permis de mettre en évidence ou de supposer d'autres systèmes de failles au Sud et à l'Ouest du graben :

- dans le prolongement Sud-Ouest de la faille de « Niederhausbergen », une faille d'orientation W.SW-E.NE³ est observée (« Faille d'Oberhausbergen ») qui semble rejoindre la « Faille d'Achenheim » d'orientation N.S.
- Cette dernière, bien connue et avérée dans sa partie Sud car visible dans la carrière d'Achenheim, se prolongerait vers le Nord sous la forme d'une faille d'effondrement en cuillère qui paraît largement avoir été scellée par les loess anciens du Pléistocène moyen à supérieur. Sa partie Sud ainsi que la faille d'Oberhausbergen auraient continué à jouer, délimitant une terrasse entaillée au Sud par les sables rouges anciens de la Bruche.

² Sud-Sud-Ouest / Nord-Nord-Est

³ Ouest-Sud-Ouest / Est-Nord-Est

- Vers Pfttisheim, cette faille prendrait une direction Sud-Ouest/Nord-Est pour rejoindre la faille de Vendenheim. Cependant, l'hypothèse de cette « faille de Pfttisheim » reste à confirmer, au travers d'une campagne localisée de géophysique à haute résolution, par exemple.

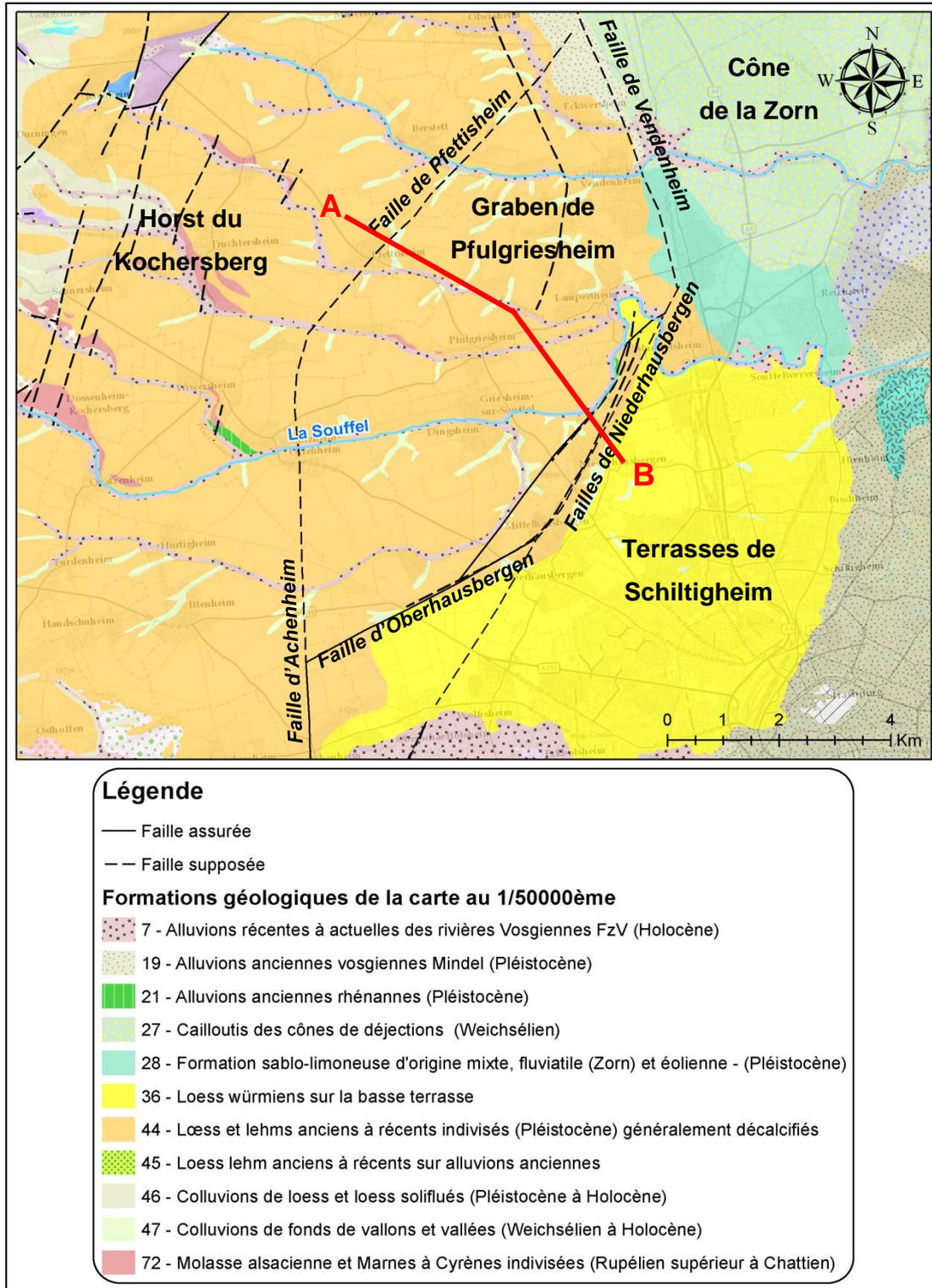


Illustration 12 : Carte géologique au 1/50000^{ème} centrée sur le graben de Pfulgriesheim (trait rouge = coupe schématique réalisée par Frey en 2006)

L'illustration 13 représente une coupe schématique du graben depuis Pfttishheim au Nord-Ouest jusqu'à Oberhausbergen au Sud-Est (tracé de la coupe présentée en Illustration 12). Le pendage des couches qui se réduit vers l'Est indique qu'il s'agit d'un demi-graben plus affaissé au Sud-Est et ayant joué pendant la sédimentation. L'affaissement continu de ce graben a préservé des intercalaires argileux et sableux fins à niveaux de tourbe qui ont été érodés dans la partie plus centrale de l'aquifère.

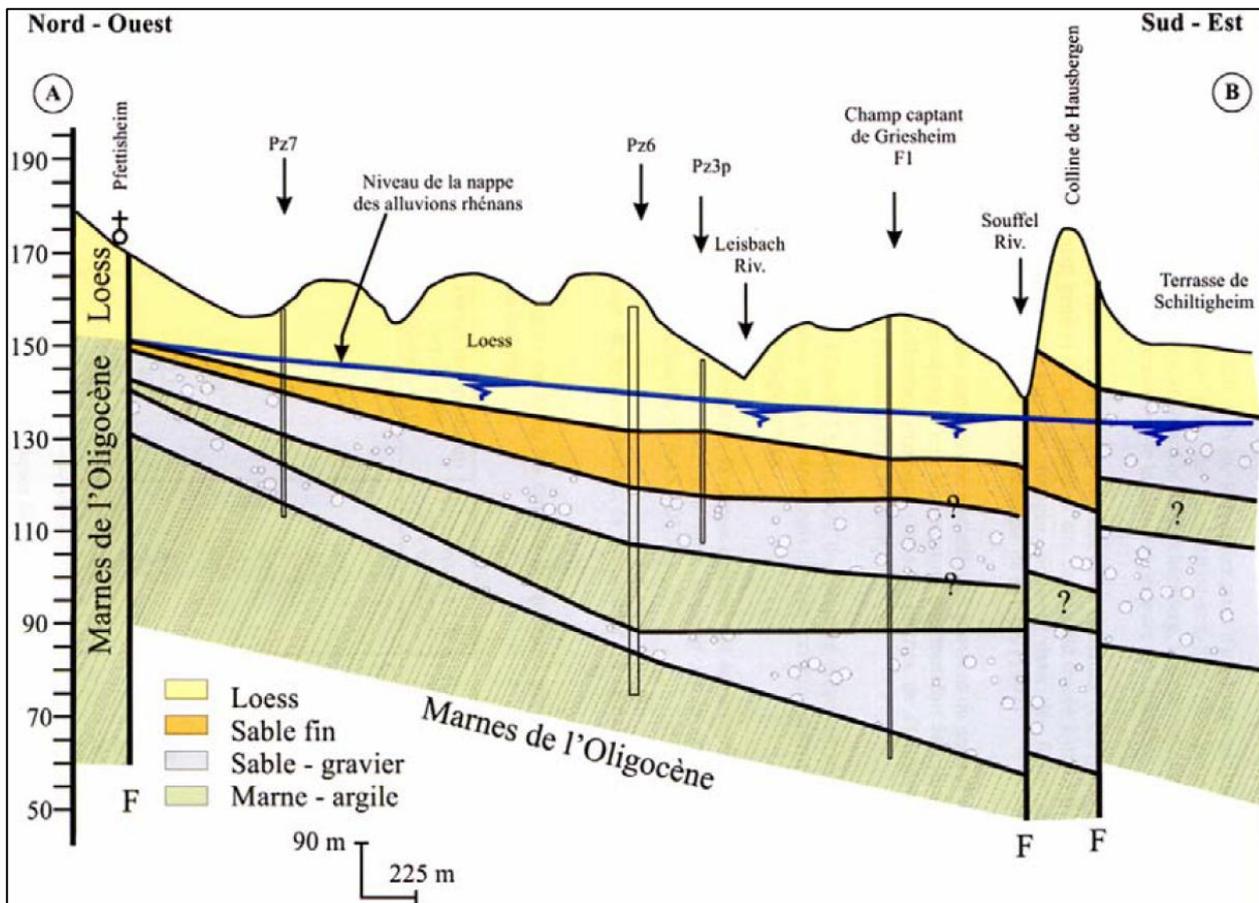


Illustration 13 : Coupe schématique Nord-Ouest/Sud-Est du graben de Pfulgriesheim (Frey, 2006)

Ce graben remarquable, en plus de son intérêt pour l'alimentation en eau potable, mériterait des études plus poussées (notamment géophysiques pour en reconnaître les structures et préciser ces limites et palynologiques pour en dater les épisodes) qui apporteraient des informations cruciales pour la tectonique récente du Fossé rhénan.

3.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011)

La carte des formations superficielles (Urban et Boucher, 2011) confirme la présence, en surface, d'une importante couche de loess sur l'ensemble de la zone, parsemée de colluvions loessiques dans les petits talwegs et traversée d'Est en Ouest par les sédiments des cours d'eau actuels (cf. Illustration 14). Jusqu'à peu, l'hypothèse d'un prolongement des sables rhénans à l'Ouest des collines de Hausbergen n'était pas retenue. En effet, des terrains oligocènes avaient été cartographiés, de façon erronée, sous les loess à Pfulgriesheim. Cet état des connaissances était encore reflété par la coupe hydrogéologique transfrontalière Strasbourg-Offenbourg réalisée en 1995 par Elsass et Rau.

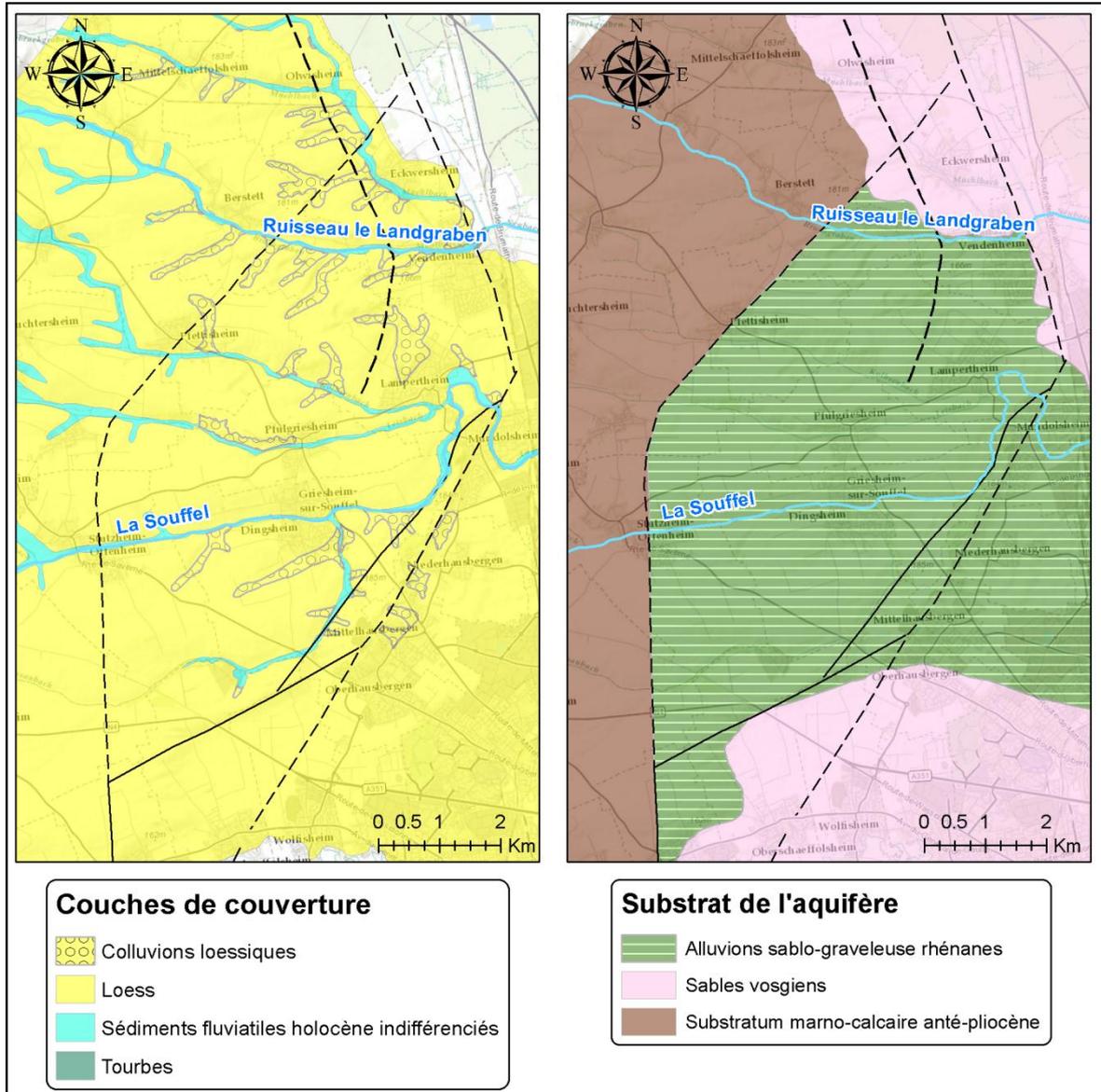


Illustration 14 : Cartographie des formations superficielles dans la zone du graben de Pfulgriesheim - à gauche, les formations récentes de couverture, à droite le substrat des formations aquifères (d'après Urban et Boucher, 2011)

Toutefois, le forage de recherche d'eau 02346X0185/N6, réalisé en 1993 par le BRGM à Pfulgriesheim, pour le Syndicat d'Adduction d'Eau de Strasbourg-Nord et son maître d'œuvre le SDEA, a mis en évidence la présence d'une puissante série de graviers rhénans (Buard *et al.*, 1994). Le substratum des graviers rhénans serait atteint à 96 m de profondeur, soit à une plus grande profondeur qu'à Strasbourg plus à l'Est. Un forage AEP situé plus en amont et réalisé en 2008, a montré également une épaisseur importante de loess puis de graviers rhénans. Les recherches d'eau poursuivies par le bureau d'études ANTEA pour les mêmes commanditaires et pour la CUS (Communauté Urbaine de Strasbourg) ont progressivement permis de délimiter ce "graben de Pfulgriesheim" (Gemin *et al.* 1998, Talbot et Bendler 2004, Frey 2006).

Ces différentes constatations, confirmées par les travaux du chantier Vosges-Fossé rhénan pour le Référentiel Géologique Français, ont permis de valider la présence d'alluvions sablo-graveleuses rhénanes anciennes sous les loess dans cette structure affaissée d'âge

Quaternaire (graben ou demi-graben), séparée de la terrasse de Schiltigheim par les Collines de Hausbergen.

A Eckwersheim, en rive gauche du ruisseau le Landgraben, des sables d'origine vosgienne, associés à la Zorn, sont cartographiées sous une faible épaisseur de loess. Ils constituent l'extrémité Sud-Est de la terrasse sableuse de la Zorn (A noter que les rares ouvrages localisés dans ce secteur sont peu décrits et ne permettent donc pas de confirmer cette hypothèse).

3.2.3. Description des formations géologiques principales rencontrées à l'affleurement

Les formations anciennes en limite Ouest du graben

Ces formations affleurantes dans les vallons du plateau du Bas-Kochersberg sont parmi les facteurs à l'origine du traçage des limites Ouest et Nord-Ouest (failles supposées) du graben de Pfulgiesheim. Quelques forages réalisés en bordure Ouest du graben (vers Wiwersheim et Berstett) rencontrent rapidement ces formations majoritairement argileuses et marneuses datant de l'Oligocène, sous une couverture loessique de l'ordre de 5 à 15m.

- **Formation du Trias : les Marnes irisées supérieures du Keuper supérieur**

Le vallon du Plaetzerbach, entre Wiwersheim et Offenheim, montre une petite terrasse, à environ 1km de la limite Ouest du graben. La carte géologique au 1/50000^{ème} de Brumath-Drusenheim, la décrivait à l'époque comme étant constituée de « sable rouge d'origine vosgienne qui ne saurait avoir été amené par ce ruisseau » et l'associe donc à un ancien dépôt fluvial quaternaire sous couverture loessique analogue à celui d'Achenheim, appartenant au système de grandes terrasses rhénanes.

Or, les travaux récents d'harmonisation de la carte géologique (Skrzypek *et al.*, 2007) révèlent plutôt, à cet endroit, la présence d'évaporites (type gypse et anhydrite) qui seraient dès lors associées à la base inférieure des Marnes irisées supérieures du Keuper supérieur. Cette hypothèse permettrait de confirmer la limite Ouest d'extension du graben de Pfulgiesheim.

- **Molasse alsacienne et Marnes à Cyrènes indivisées (Rupélien supérieur à Chattien)**

Cette formation géologique de l'Oligocène supérieur est également rencontrée en limite Ouest du graben de Pfulgiesheim. Il s'agit d'un ensemble indifférencié de dépôts lacustres et fluviaux de type marnes argileuses avec intercalations de grès calcaire (molasse alsacienne). Ces formations sont en réalité particulièrement remaniées jusqu'à une profondeur dépassant 1,5m.

Les formations du Pléistocène

- **Cailloutis et sables de la Zorn : « Terrasse » de la Zorn (Mindel)**

Ces dépôts d'origine vosgienne se trouvent actuellement en position de terrasse sur la rive droite de la Zorn vers Vendenheim, en partie Nord du graben. Ce matériel grossier est constitué de galets de quartzite blanc pris dans une matrice sablo-argileuse. Ces dépôts deviennent plus sableux en surface. La couleur rouge de l'ensemble du matériel témoigne de l'important épisode de pédogenèse caractérisant l'Interglaciaire Mindel-Riss, période ayant permis la conservation des oxydes de fer.

- **Alluvions sablo-graveleuses rhénanes (Mindel) – formation non affleurante**

Ces alluvions sablo-graveleuses ont été mises en évidence suite à des campagnes de forages d'exploration menés du côté de Pfulgiesheim et de Griesheim-sur-Souffel.

Recouvertes par les lœss du Pléistocène indifférencié, pouvant atteindre localement 30m d'épaisseur, ces investigations terrains ont montré qu'elles sont ensuite recouvertes d'un niveau de sable fin avec des intercalations argileuses puis qu'elles se décomposent en deux niveaux souvent séparés par une couche argileuse (Frey, 2006).

- **Lœss du Pléistocène indifférencié (Mindel à Würm)**

La fin des deux dernières périodes froides du Quaternaire, Riss et Würm, a été caractérisée par d'importants phénomènes éoliens. Des climats froids et secs avec vents forts soufflant dans une direction Est-Ouest ont permis d'importants dépôts de limons lœssiques (de quelques mètres à plus de 10 m d'épaisseur par endroits).

Sauf pour ce qui est de la terrasse de Schiltigheim (voir ci-dessous) il n'est actuellement pas possible de différencier systématiquement les affleurements de lœss rissien et ceux de lœss würmien, bien que leurs caractéristiques divergent assez sensiblement :

- le lœss würmien est généralement recouvert par un lehm d'altération de couleur brune, moins foncée que celle du lœss rissien (couleur brun-rouge) ;
- en profondeur, l'important lessivage des carbonates, dû à la pédogenèse, a permis la formation de concrétions calcaires (« poupées ») de tailles très différentes (quelques mm à quelques cm dans le lœss würmien, plus de 10 cm dans celui d'âge rissien).

Le forage de reconnaissance 02346X0185/N6 à Pfulgiesheim a par exemple traversé une épaisseur de lœss d'environ 23m mais il semble probable que l'épaisseur du lœss puisse atteindre les 30 m par endroit (cf. chapitre 3.4.1).

- **Terrasse de Schiltigheim : Lœss würmiens recouvrant les cailloutis du Rhin et de la Bruche (Würm)**

Cette grande accumulation éolienne forme la terrasse de Schiltigheim qui domine de plusieurs mètres les vallées du Rhin et de la Bruche. L'épaisseur des formations est très grande et peut dépasser 10 m en certains points.

Les formations de l'Holocène

- **Alluvions sablo-limoneuses vosgiennes**

Ces dépôts récents constituent le fond alluvial des petits ruisseaux rencontrés dans le secteur. Ils sont particulièrement limoneux et proviennent du remaniement des lœss rissiens et würmiens et de leurs lehms d'altération.

3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

3.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA

Les travaux menés dans le cadre du référentiel hydrogéologique BDLISA (Urban *et al.*, 2013) ont permis de mieux cerner l'organisation verticale des formations d'intérêt du point de vue

hydrogéologique. Dans le graben de Pfulgiesheim, les entités hydrogéologiques affleurantes sont donc bien les alluvions anciennes rhénanes. Ces dernières se caractérisent d'ailleurs, sur ce secteur, par la présence d'horizons argileux grisâtres pluri-métriques pouvant parfois recouper les horizons sablo-graveleux typiques de l'aquifère rhénan.

Ces alluvions reposent sur les formations oligocènes du Bassin du Pechelbronn qui sont sub-affleurantes en amont du secteur, au-delà des failles d'Achenheim et Pftttsheim. Les formations lœssiques n'ont pas été cartographiées dans le cadre de ce référentiel.

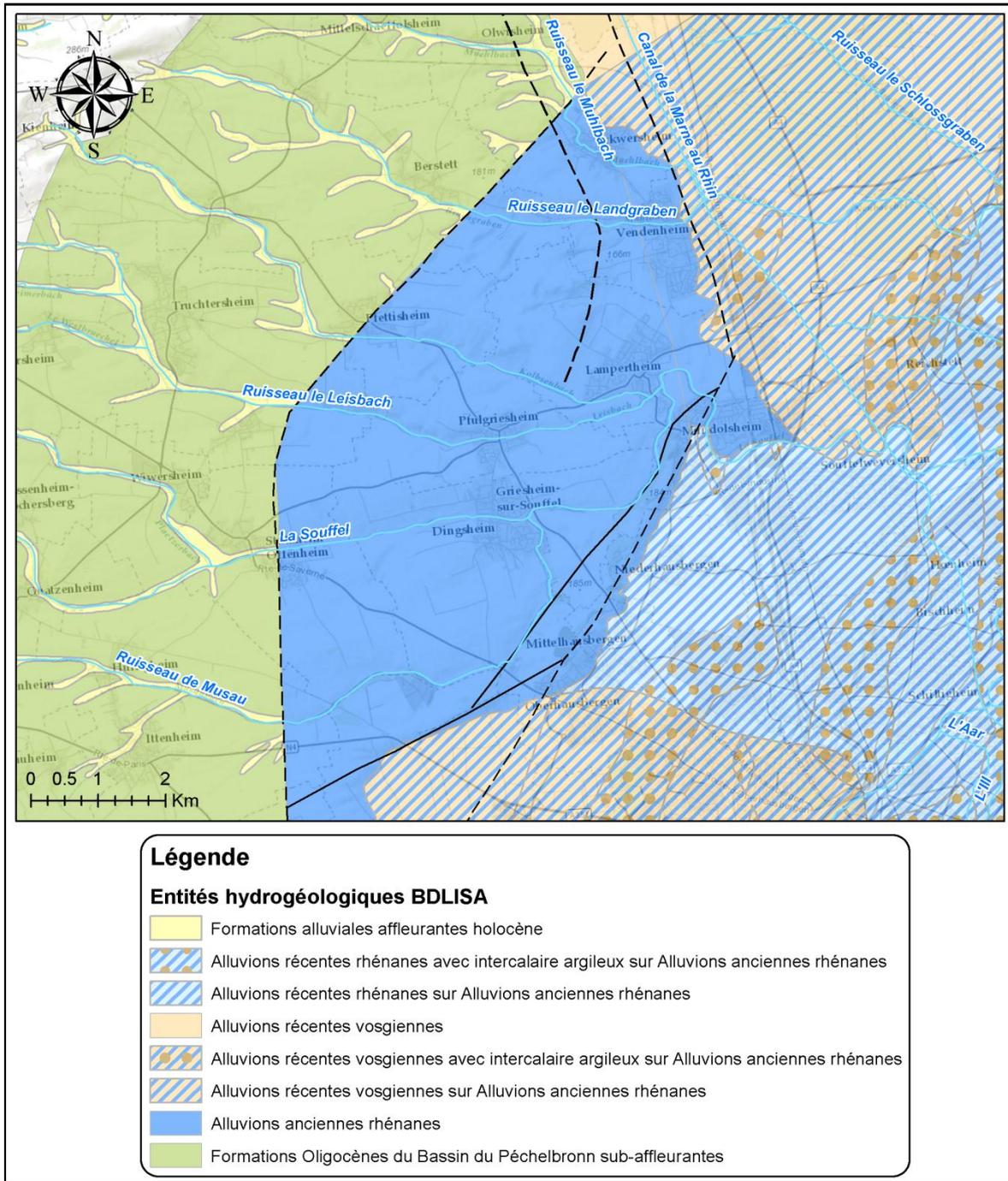


Illustration 15 : Cartographie des entités hydrogéologiques affleurantes du référentiel BDLISA répertoriés dans le graben de Pfulgiesheim

3.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des alluvions rhénanes anciennes

Valeurs de caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

Dans le cadre de la BRAR, une compilation des résultats de pompage d'essai sur des ouvrages captant la nappe d'Alsace a été réalisée. Cependant, dans le secteur, seul l'ouvrage 02346X0046/F3 situé à proximité du champ captant de Lampertheim, propose des valeurs de paramètres hydrodynamiques. Il est profond de 55 m et a recoupé 15m de loess puis 40m d'alluvions rhénanes. Les valeurs de perméabilité et de transmissivité sont respectivement de $8,8 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ et $210 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ et le débit critique du forage a été défini à hauteur de $500 \text{ m}^3/\text{h}$, soit deux fois la valeur moyenne de la nappe d'Alsace (Risler *et al.*, 2006). Le gradient hydraulique moyen a été estimée à 0,2‰ environ entre Pfulgiesheim et Lampertheim (Gemin *et al.*, 1998).

Recharge

La recharge de la nappe semble être majoritairement influencée par les apports des rivières du bassin ainsi que par les précipitations sur les couvertures loessiques qui finissent par s'infiltrer et atteindre les sables et graviers rhénans sous-jacents.

Battement de la nappe

La nappe mesurée sur le piézomètre 02346X0139/313A à l'Est du graben présente un battement annuel moyen de 1,5 m (statistiques ADES calculées pour la période 1986-2014).

3.3.3. Détermination des directions d'écoulement souterrain

La délimitation des bassins versants souterrains et la détermination des lignes de courant associées confirment cette hypothèse d'apports souterrains venant de l'Ouest (cf. Illustration 16). En effet, une grande majorité des lignes de courant sont d'orientation Est-Ouest et vont en direction de la plaine d'Alsace.

Les zones cerclées en rouge sur l'illustration 16 correspondent à des zones nettement influencées par (A) les champs captant de Lampertheim (cf. chapitre 3.4.1), (B) des captages publics et privés situés à Reichstett, (C) les forages AEP de la Cour d'Angleterre et (D) les forages AEP d'Oberhausbergen, ces derniers étant tous deux gérés par la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS).

Plusieurs lignes de courant se rejoignent à Vendenheim (cercle de vert), zone qui se caractérise par la superposition de plusieurs formations potentiellement aquifères (Terrasse de la Zorn, Alluvions rhénanes, Formations du Pliocène) et une complexité structurale certaine. De plus, le tracé des lignes de courant principales montrent que cette zone particulière semblerait recueillir des eaux souterraines d'origine assez lointaine (partie centrale du Kochersberg). Cette hypothèse pourrait être vérifiée en datant les eaux souterraines captées à cet endroit.

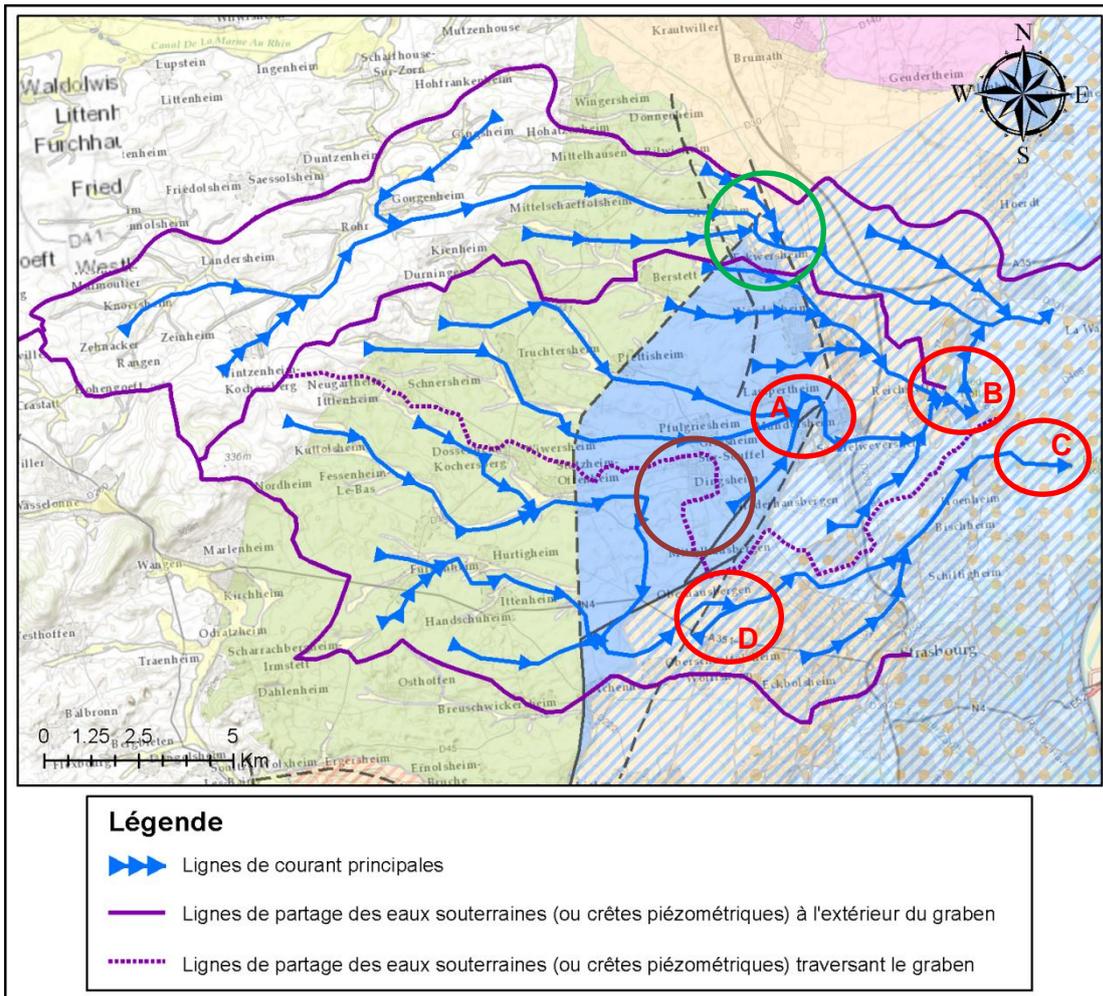


Illustration 16 : Localisation des lignes de courant principales et des lignes de partage des eaux souterraines – graben de Pfulgriesheim

Entre Vendenheim et Griesheim-sur-Souffel, les lignes de courant, de direction Est, se rejoignent toutes au niveau des champs captant de Lampertheim puis à Reichstett. Au Sud de Griesheim, une ligne de partage des eaux souterraines (cercle marron) est observée, qui semble marquer la séparation entre l'influence des champs captant précités et celle du forage AEP d'Oberhausbergen, exploité à un débit moyen de plus de 500 m³/h (selon le rapport d'activité de la CUS, 2012). Au Sud-Ouest de cette ligne de partage des eaux, les lignes de courant cartographiées contournent le horst des collines de Hausbergen, ce qui montre une certaine influence du système complexe de failles à cet endroit.

La mise en service du champ captant de Griesheim-sur-Souffel (cf. chapitre 3.4.1) devrait avoir comme conséquence un probable déplacement de cette ligne de partage des eaux intra-graben vers le Sud-Ouest.

La comparaison de ces bassins versants souterrains avec les bassins versants de surface des rivières Souffel et Landgraben, issus de la BD Carthage 2012, est intéressante dans l'optique de mieux cerner les zones d'alimentation, par infiltration et/ou ruissellement, du graben de Pfulgriesheim (cf. Illustration 17). Les secteurs où les limites entre bassins ne coïncident pas sont ainsi mis en évidence.

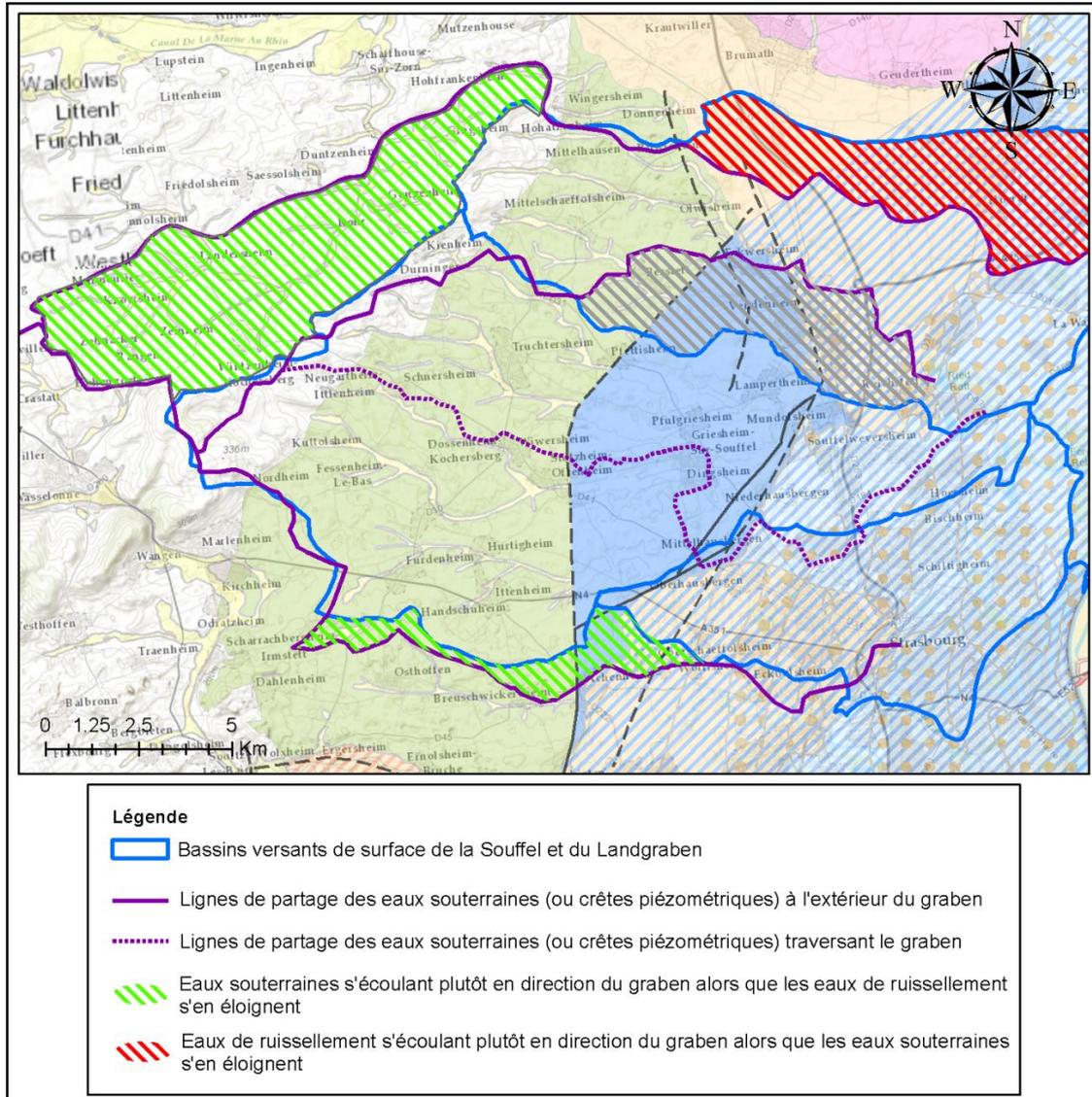


Illustration 17 : Comparaison des bassins versants souterrains et de surface – graben de Pfulgiesheim

Parmi les secteurs remarquables, celui hachuré en vert en amont du graben, est localisé dans le bassin versant de la Zorn. De ce fait, les eaux qui y ruissellent s'écoulent en direction Nord-Nord-Ouest, vers la rivière. Cependant, les travaux de délimitation des bassins versants souterrains montrent que les eaux qui s'y infiltrent s'écouleraient plutôt en direction Nord-Est puis Est-Sud-Est dans le bassin versant du Landgraben pour aboutir au sud du cône de déjection de la Zorn. Cette hypothèse reste néanmoins à vérifier à travers une étude plus locale car des incertitudes subsistent concernant la moitié Nord-Est de ce secteur (entre Wingersheim et Durningen), très peu documentée. A contrario, sa moitié Sud-Ouest se caractérise par une densité importante de puits très peu profonds captant très probablement des nappes perchées localisées contenues dans les colluvions lœssiques surmontant les formations triasiques de Saverne.

Une zone similaire mais de moindre ampleur est identifiée au sud du graben, pour laquelle les eaux souterraines s'écouleraient en direction Est-Nord-Est (influence du forage d'Oberhausbergen ?) alors que les eaux ruisselleraient en direction de la Bruche. Cette hypothèse reste néanmoins à confirmer pour ce secteur car les limites des bassins restent

particulièrement proches. Il pourrait s'agir d'un artefact lié à la qualité des interpolations et du tracé des bassins.

Le secteur hachuré en rouge est quant à lui situé à l'intérieur du bassin versant de surface du Landgraben mais ses eaux d'infiltration s'écoulent plutôt en direction de la Zorn. Ce secteur est décrit plus en détails dans le chapitre 4.

Enfin, entre Pfettisheim et Reichstett, la ligne de partage des eaux souterraines se décale soudainement d'environ 2km au Nord de la ligne de crête séparant les bassins versants de la Souffel et du Landgraben. Dans ce secteur, hachuré en gris dans l'illustration 17, les eaux qui s'infiltrèrent sont influencées par les pompages exercés dans le champ captant de Lampertheim et s'écoulent par conséquent en prenant une direction Sud-Est. Les eaux de ruissellement rejoignent plutôt le cours d'eau Landgraben, en direction Nord-Est.

Pour le reste, une bonne coïncidence entre les limites des bassins souterrains et surfaciques est observée. Par exemple, l'eau qui ruisselle sur, ou s'infiltré dans les loëss déposés directement sur les formations oligocènes en amont du graben, s'écoule forcément en direction du graben.

3.3.4. Relations nappe-rivière et inter-nappes

A l'exception du ruisseau du Musau et de la moitié aval de la Souffel, les tracés des autres ruisseaux traversant le graben semblent coïncider parfaitement avec les lignes principales d'écoulement souterrain. L'hypothèse d'un maintien des niveaux de ces ruisseaux par un apport venant de la nappe est donc à privilégier, même si elle mériterait d'être confortée par d'autres indices.

Une approche menée en 2012 par Brugeron *et al.* pour identifier et qualifier les relations pouvant exister entre les nappes captées par les piézomètres ADES et les cours d'eau avoisinants, a permis d'émettre l'hypothèse que la nappe captée par 02346X0139/313A draine le cours d'eau de la Souffel. Ce résultat semble contradictoire avec l'hypothèse émise juste avant. Cependant, il faut rappeler que cet ouvrage est situé dans un secteur très nettement influencé par le champ captant de Lampertheim, dont les pompages ont induit une baisse sensible du niveau de la nappe à cet endroit. Ces pompages ont pu participer localement à l'inversion du sens initial des échanges nappe/cours d'eau.

A l'exception de petites nappes perchées hypothétiques dans les loëss en amont de la zone d'étude, celle-ci ne semble se caractériser que par la présence d'une seule nappe, contenue dans les alluvions rhénanes. En limite Est du graben, il faut noter toutefois que le décalage engendré par le rejet de la faille d'Oberhausbergen au droit des collines de Hausbergen aurait pour conséquence de mettre la partie inférieure de l'aquifère des alluvions rhénanes du graben en contact avec le substratum marneux sous la terrasse de Schiltigheim. La partie supérieure serait quant à elle en contact avec la partie inférieure de l'aquifère rhénan principal de la plaine d'Alsace (Frey, 2006).

3.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR

D'une manière générale, les eaux souterraines sont principalement captées dans la moitié aval du graben, avec une concentration d'ouvrages recensés plus importante le long de la faille d'Oberhausbergen et dans les communes de Griesheim-sur-Souffel, Pfulgriesheim, Mundolsheim et Lampertheim (cf. Illustration 18).

En amont d'une ligne imaginaire qui passerait par Pfulgriesheim, très peu d'ouvrages captant des eaux souterraines ont été répertoriés et parmi eux, rares sont ceux décrits de manière suffisamment précise.

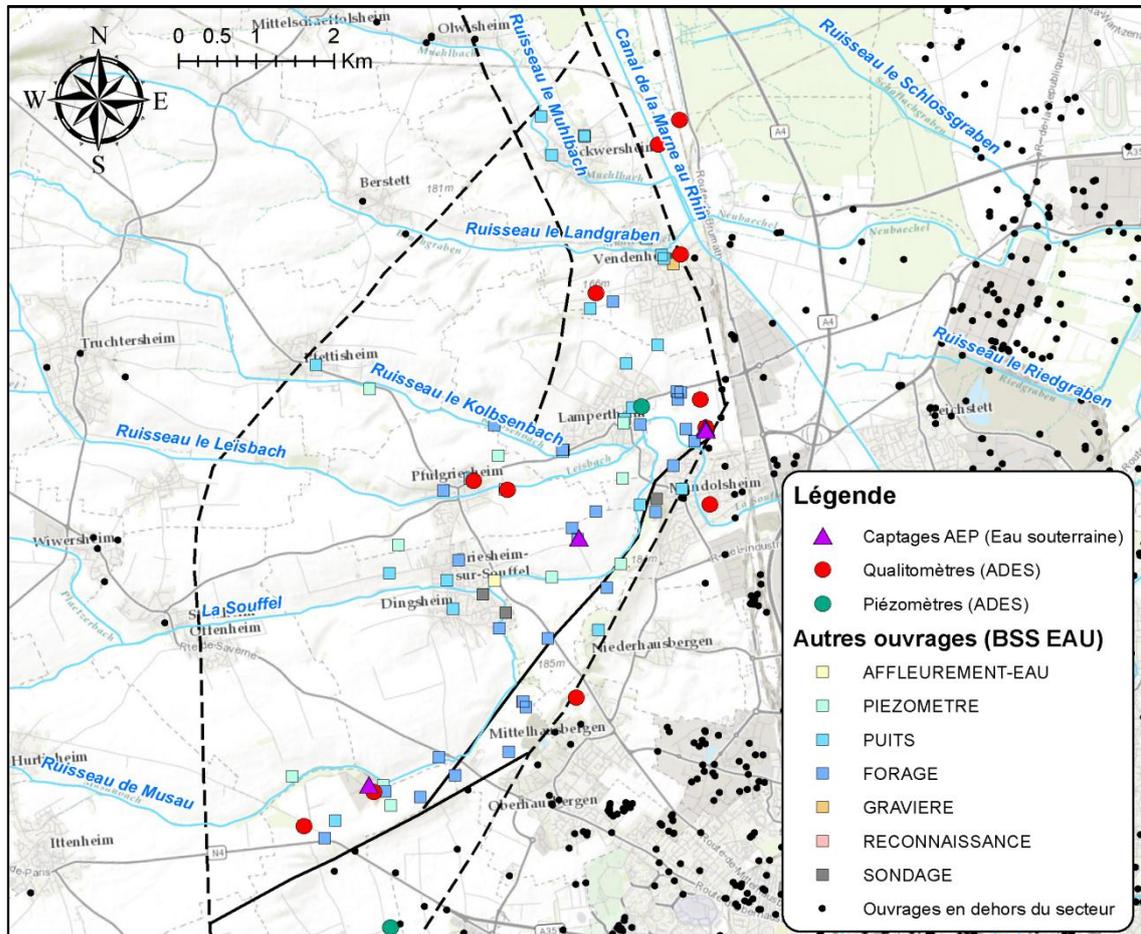


Illustration 18 : Localisation des captages AEP, qualitomètres ADES, piézomètres ADES et des autres points d'eau associés à la BSS EAU dans ou proche du graben de Pfulgriesheim

3.4.1. Captages AEP

Deux champs captants destinés à l'alimentation publique en eau potable (AEP) sont répertoriés dans le Référentiel national des captages AEP. Ils sont localisés à Lampertheim et à Griesheim-sur-Souffel et sont gérés par le Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle (SDEA). Les forages associés au premier cité, actifs depuis 1980 et profonds d'environ 50 m, captent une nappe libre contenue dans des alluvions rhénanes grossières à graviers recouvertes d'une épaisseur d'environ 8m de loess. Ils ont rencontré des argiles compactes gris-foncé à 46 m de profondeur mais ces dernières n'ont pu être clairement associées aux marnes oligocènes. La capacité totale de production du champ captant de Lampertheim est de 630 m³/h (cf. Illustration 19). L'eau souterraine captée est de bonne qualité et ne nécessite pas d'autre traitement qu'une simple chloration.

localisation	dénomination	type de ressource	indice national	traitement	capacité installée m ³ /h
Lampertheim	puits 1	puits	234-6-7	néant	70
Lampertheim	puits 2	puits	234-6-51	néant	200
Lampertheim	puits 3	puits	234-6-46	néant	360
capacité totale de production					630 m³/h ou 15 120 m³/j

Illustration 19 : Caractéristiques des forages du champ captant de Lampertheim (SDEA, 2014)

Les deux ouvrages, réalisés en 2004 (02346X0218/F) et 2008 (02346X0239/P2) à Griesheim-sur-Souffel au lieu-dit « Wucher » sont eux situés légèrement en amont d'un forage de reconnaissance réalisé en 1993 qui avait montré, à l'époque, un potentiel prospectif intéressant. Ils captent également la nappe des alluvions rhénanes sablo-graveleuses (avec plusieurs passées plus argileuses), sur environ 60 m et situées en-dessous d'une puissante couverture de loess. Ces deux ouvrages ont fait l'objet d'un arrêté préfectoral en avril 2013, autorisant leur exploitation pour l'AEP, avec des débits instantanés maximum d'environ 700 m³/h chacun pour un volume annuel maximum autorisé à hauteur de 4 750 000 m³ (somme des deux ouvrages). La station de traitement et de pompage de Griesheim-sur-Souffel (déferrisation, démanganisation, décarbonatation) a été mise en service mi-juillet 2014 (SDEA, 2014).

Plus au Sud, à proximité du ruisseau de Musau, un puits de 50 m de profondeur, destiné à l'AEP mais pour un usage privé depuis 2005, a également traversé environ 26m de loess puis 25 m d'alternance sables/graviers/argiles associés aux alluvions rhénanes.

3.4.2. Piézomètres (ADES et hors ADES)

Dans le secteur d'étude, seul un ouvrage d'eau est identifié comme appartenant au réseau de suivi piézométrique des eaux souterraines de la nappe d'Alsace géré par l'APRONA (cf. Illustration 20). Il s'agit du point d'eau 02346X0139/313A, d'une profondeur de 12,5 m et situé à Lampertheim. Malgré l'absence de coupe géologique pour cet ouvrage, ce dernier est logiquement associé à la nappe d'Alsace (alluvions anciennes rhénanes).

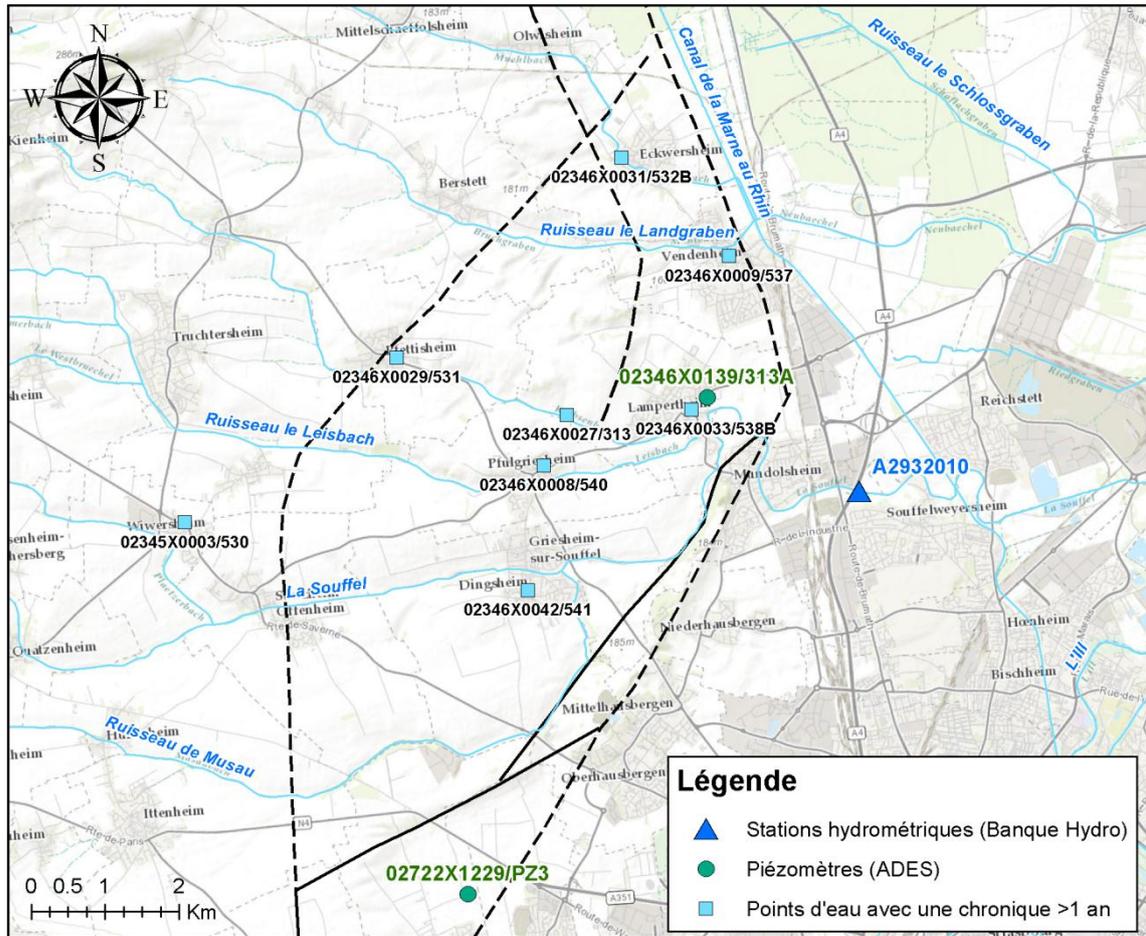


Illustration 20 : Localisation des piézomètres ADES et hors ADES et des stations de mesure hydrométrique référencées dans la Banque Hydro – graben de Pfulgriesheim

Le piézomètre 02722X1229/PZ3, situé au Sud du graben, capte également la nappe contenue dans les sables et graviers rhénans, sous une couverture d'environ 12m de limons argilo-silteux. Cependant, cet ouvrage ne fait l'objet d'un suivi continu que depuis août 2013, ce qui limite pour le moment l'exploitation des mesures qui y sont réalisées.

Les autres points d'eau présentés dans l'Illustration 20 ont fait l'objet d'un suivi hebdomadaire de leur niveau piézométrique entre la fin des années soixante et le milieu des années soixante-dix. Seul cas notable, le puits 02346X0033/538B, profond de 9m et localisé à Lampertheim, qui a fait l'objet d'un suivi jusqu'à mars 1987 (cf. Illustration 21).

Aucune station de mesure hydrométrique n'est (et n'a jamais été) implantée dans le secteur. La station la plus proche est la station de la Souffel à Mundolsheim (A2932010), située plus en aval à environ 2,5 km du piézomètre 02346X0139/313A.

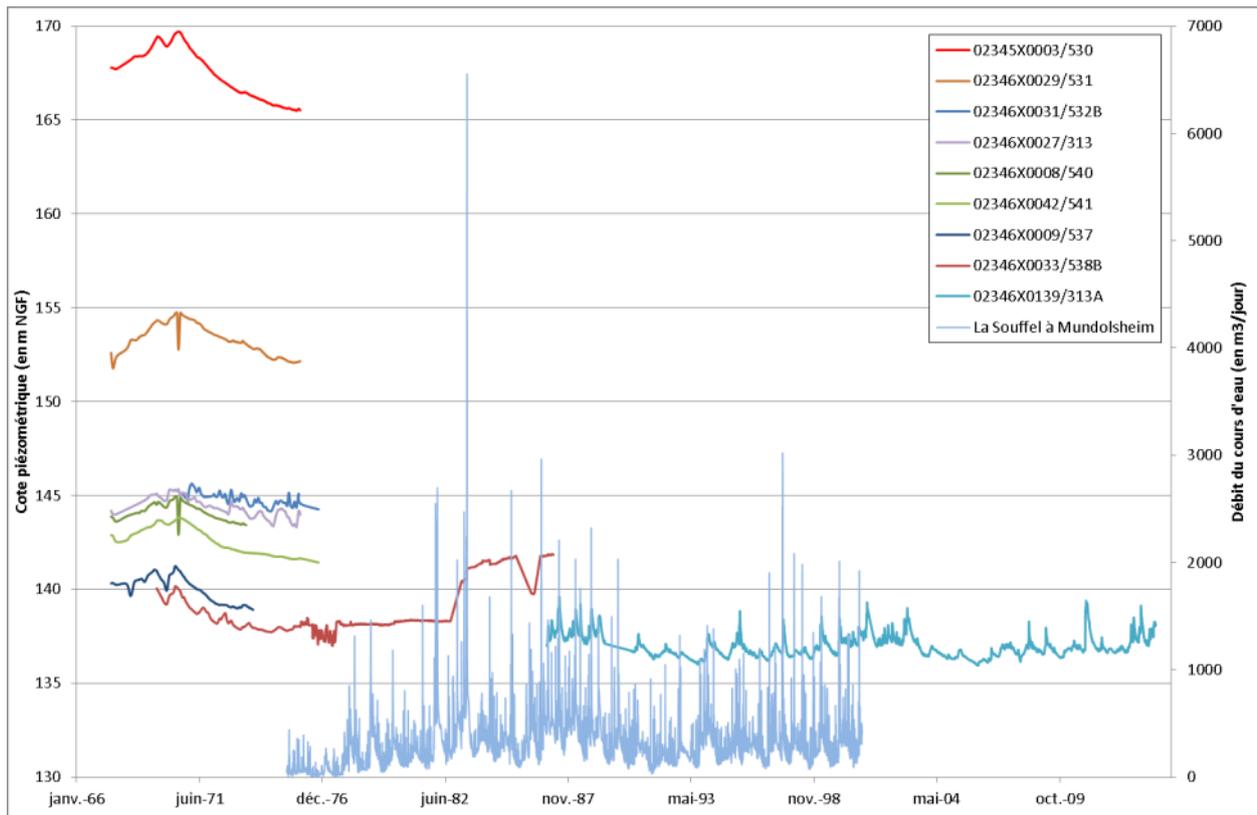


Illustration 21 : Chroniques piézométriques remarquables et comparaison avec les débits enregistrés sur la station hydrométrique la plus proche – graben de Pfulgiesheim

De toutes les chroniques piézométriques accumulées sur ce secteur, seules celles des ouvrages 02346X0033/538B et 02346X0139/313A ont une période de suivi commune avec la chronique des débits journaliers de la station en aval (début 1975 à fin 1999). Ces deux puits sont quasiment de même profondeur et distant de 300m l'un de l'autre.

L'illustration 22 ci-dessous montre néanmoins que la chronique piézométrique du puits 02346X0033/538B est très douteuse entre 1976 et 1986, date à laquelle son suivi a été interrompu (cercle rouge). Avant cela, le comportement de la nappe semble assez similaire à ce qui est enregistré à partir de 1986 sur le puits 02346X0139/313A.

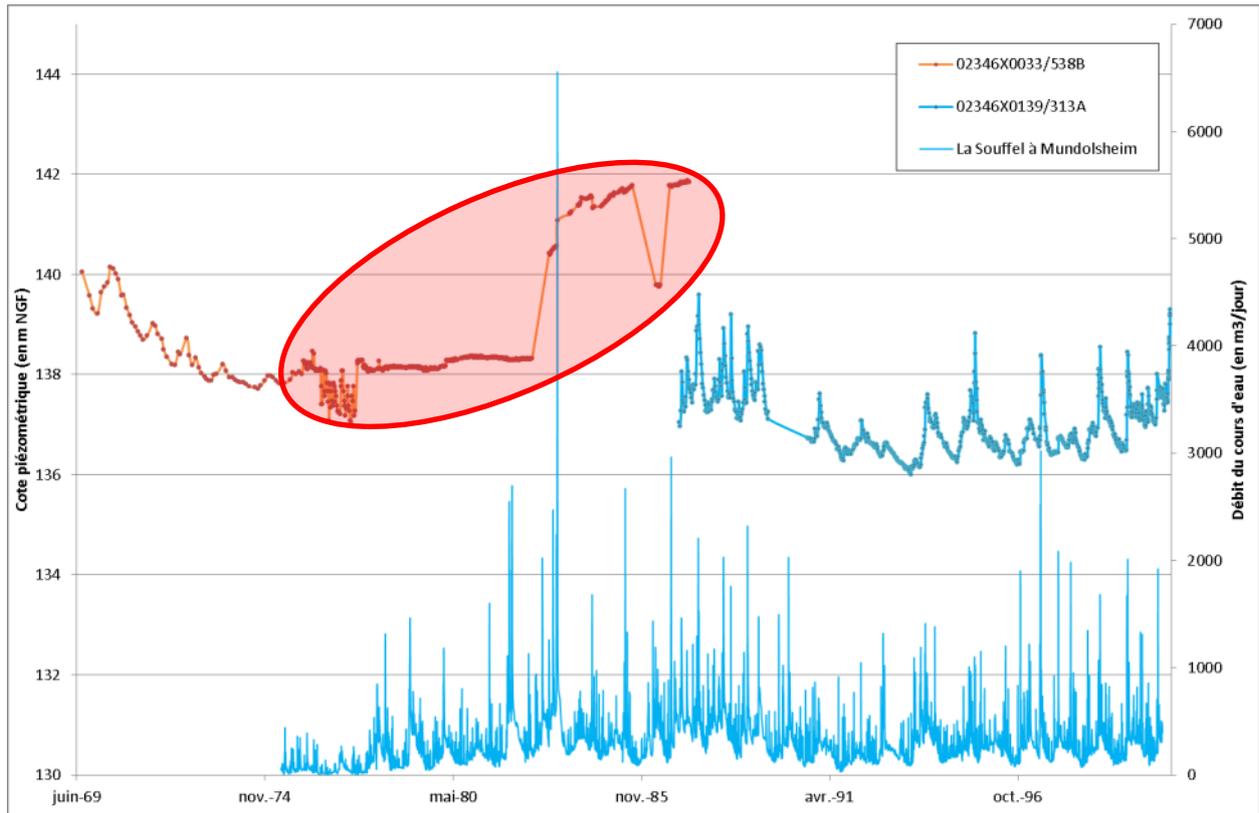


Illustration 22 : Comparaison des chroniques piézométriques des deux points d'eau à chronique longue situés à Lampertheim avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Souffel à Mundolsheim

Malgré son caractère douteux durant cette période, il est néanmoins constaté que le niveau de la nappe captée par le puits 02346X0033/538B augmente subitement de 1,5m environ en mai 1983, ce qui coïncide avec l'épisode de crue exceptionnelle observée sur la Souffel à cette époque (période de retour 80 ans).

D'après les travaux de Brugeron *et al.* (2012), les niveaux piézométriques mesurés depuis fin décembre 1986 sur le puits 02346X0139/313A présentent à la fois une cyclicité saisonnière et une cyclicité pluriannuelle assez marquée. La première témoignerait de l'influence directe des précipitations et d'une relation étroite avec la rivière Souffel située à environ 200 m en aval. Même si la station hydrométrique est située en aval du puits, les pics de hautes eaux de la nappe observés sur l'illustration 22 coïncident parfaitement avec ceux correspondant aux épisodes de crue de la Souffel. La seconde cyclicité témoigne plutôt d'apports souterrains plus inertiels et moins tributaires des variations saisonnières (apports latéraux venant du Kochersberg ?). A noter que les variations du débit d'exploitation des forages du champ captant de Lampertheim situé à environ 500 m à l'Est ont probablement également une incidence sur le signal mesuré sur ce piézomètre.

Tous les autres points d'eau, affichés sur la carte de l'illustration 20 et situés plus en amont, ont vu leur suivi prendre fin en 1976 ce qui ne permet pas une étude poussée des signaux qui y ont été enregistrés. Néanmoins, même s'il est difficile d'appréhender le degré de précision des mesures réalisées à cette époque, il est intéressant de noter une grande similitude dans les signaux piézométriques enregistrés avant 1976 entre tous ces points, incluant le puits 02346X0033/538B précédemment décrit (cf. Illustration 23).

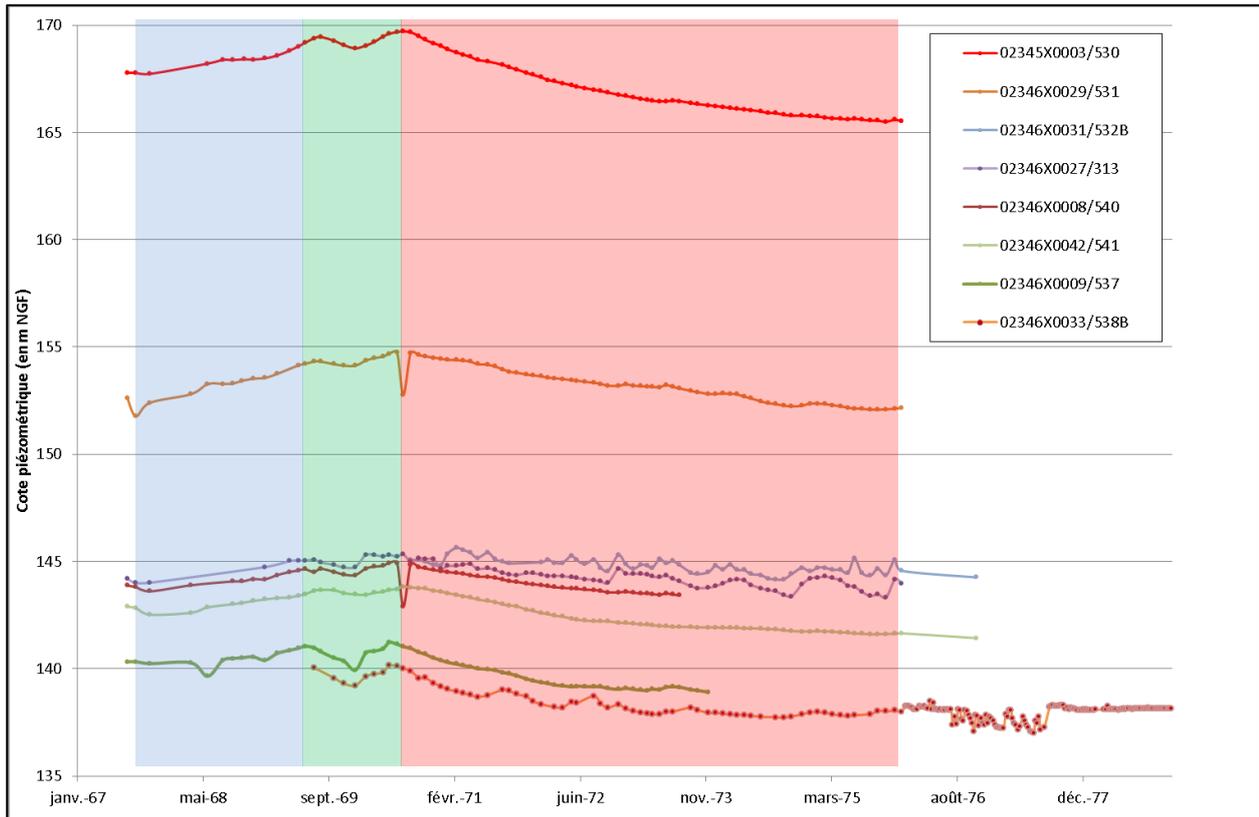


Illustration 23 : Comparaison des chroniques piézométriques de la partie amont du graben jusqu'à Lampertheim

Globalement, ces signaux sont caractéristiques de nappes semi-captives à captives. Ceci coïncide avec les travaux de Frey (2006) qui décrivait déjà la nappe des alluvions rhénanes dans le graben comme étant semi-captive sous les niveaux de loess, pour devenir nettement libre à partir des collines de Hausbergen en direction Est.

Les niveaux mesurés augmentent de 1967 à juillet 1969 (zone en bleu foncé) puis s'en suit une période plus stabilisée jusqu'à fin 1970 (zone en vert) pour ensuite aboutir vers une baisse régulière du niveau jusqu'au début de l'année 1976 (zone en rouge).

L'ouvrage 02345X0003/530, situé à Wiwersheim, en amont du graben (en dehors de la zone d'étude), présente un signal très nettement inertiel. Cet ouvrage peu profond (15,6m), situé dans la haute terrasse du Kochersberg qui se caractérise normalement par des dépôts loessiques pouvant atteindre jusqu'à 15m d'épaisseur recouvrant des marnes datées de l'Oligocène, est malheureusement pauvrement décrit. Les rares ouvrages situés à proximité le sont tout autant. Il est donc difficile de dire si cet ouvrage traverse une frange alluvionnaire aquifère (de quelle origine ?) mise en captivité par les loess sus-jacents, ce qui remettrait en cause la géologie cartographiée à cet endroit, ou alors si les loess épais traversés contiennent une nappe dans leur partie basale plus perméable, qui se jetterait vers la nappe contenue dans les alluvions rhénanes plus en aval.

Quoiqu'il en soit, bien que cette relation hydraulique semble établie entre les différents ouvrages de la zone d'étude, cette hypothèse mériterait néanmoins d'être confirmée sur la base de chroniques piézométriques plus longues, non disponibles à ce jour.

A noter que l'ouvrage 02346X0031/532B à Eckwersheim présente un signal qui se distingue légèrement des autres par une plus forte variabilité à court terme (pics régulièrement espacés). Cette dernière s'explique en réalité par le fait que ce puits, peu profond (5,6m), capte très probablement la nappe d'accompagnement du ruisseau le Muehlbach, situé à moins de 50m.

3.4.3. Qualitomètres

Dans ou à proximité du graben, 13 points d'eau sont recensés comme qualitomètres dans la banque ADES (cf. Illustration 24). Ils sont tous associés au réseau pour les « inventaires de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan en plaine d'Alsace » (réseau n°0200000015) et/ou au « Réseau national de suivi au titre du contrôle sanitaire sur les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable » (réseau n°0000000028).

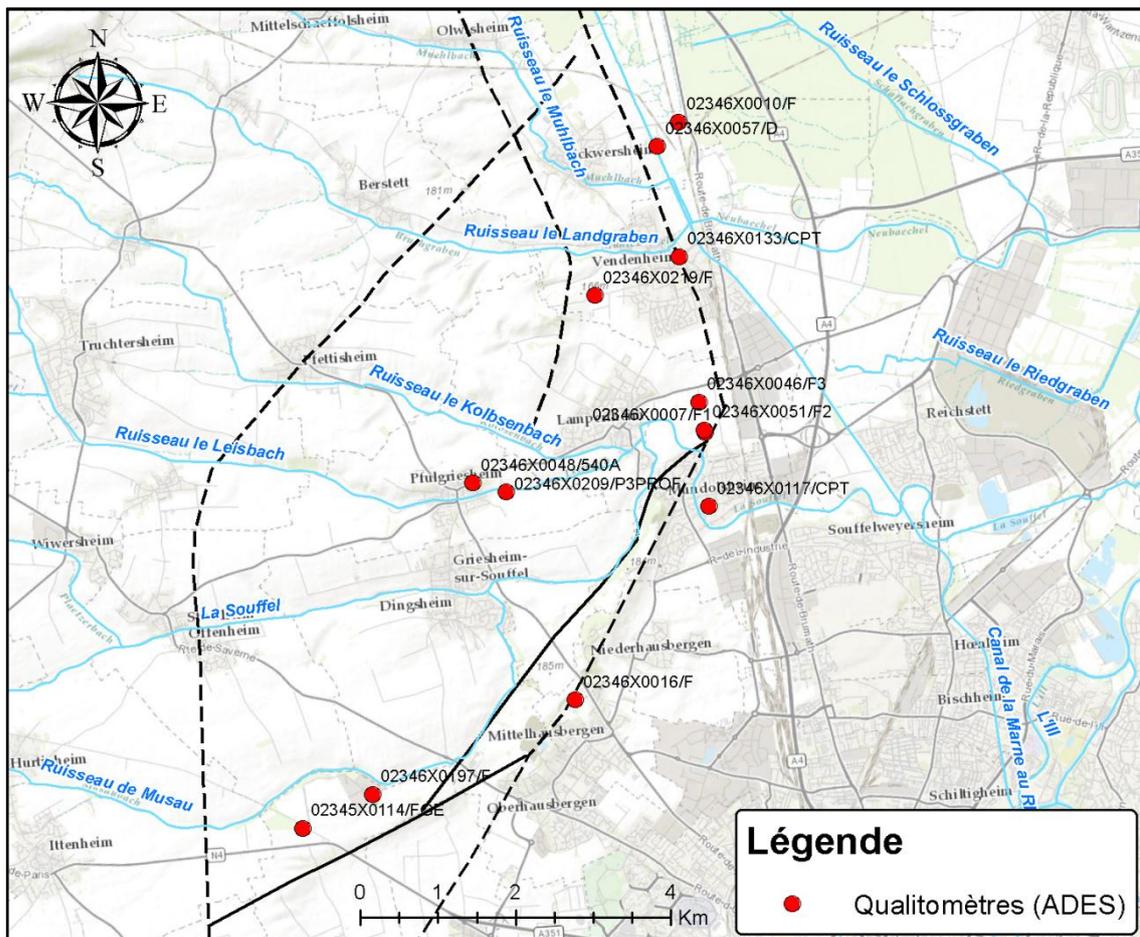


Illustration 24 : Localisation des qualitomètres ADES – graben de Pfulgriesheim

En attendant la mise en service du champ captant de Griesheim-sur-Souffel et la réalisation des analyses qualité qui suivront obligatoirement, aucun qualitomètre n'est identifié dans cette zone particulière.

Pour une large majorité de ces qualitomètres, les valeurs mesurées en nitrates restent en deçà de 20 mg/l. Il faut noter cependant que :

- les points d'eau situés du côté de Vendenheim et qui sont limitrophes du cône de déjection de la Zorn (losanges dans l'illustration 25) présentent des valeurs :

- très proches du seuil de potabilité de 50mg/l, pour les ouvrages 02346X0010/F et 02346X0019/F,
 - très nettement supérieurs à ce seuil, avec des valeurs mesurées comprises entre 120 et 180 mg/l pour l'ouvrage 02346X0133/CPT – une tendance à la baisse (à confirmer) semble être néanmoins observée;
- Du côté de Pfulgiesheim (carrés dans l'illustration 25), le point d'eau 02346X0048/540A, peu profond et captant très probablement des venues d'eau issues des lœss, présentaient des valeurs extrêmement élevées en 1991 (174 mg/l) et 2003 (148 mg/l). Cependant, la dernière mesure réalisée en septembre 2009 a montré une concentration en nitrates de 2,6 mg/l. Cette tendance extrême à la baisse devra être vérifiée afin de savoir s'il s'agit d'un problème analytique ou bien d'un phénomène naturel induit par des changements de pratiques agricoles ou des programmes de mesures environnementales dont les bénéfiques pourraient être observées, à une si faible profondeur, au bout de 10 ans. L'ouvrage 02346X0209/P3PROF, situé non loin, est quant à lui beaucoup plus profond. Il capte la nappe des alluvions rhénanes sous une couverture de lœss de près de 30m et les concentrations en nitrates sont inférieures à 20 mg/l.

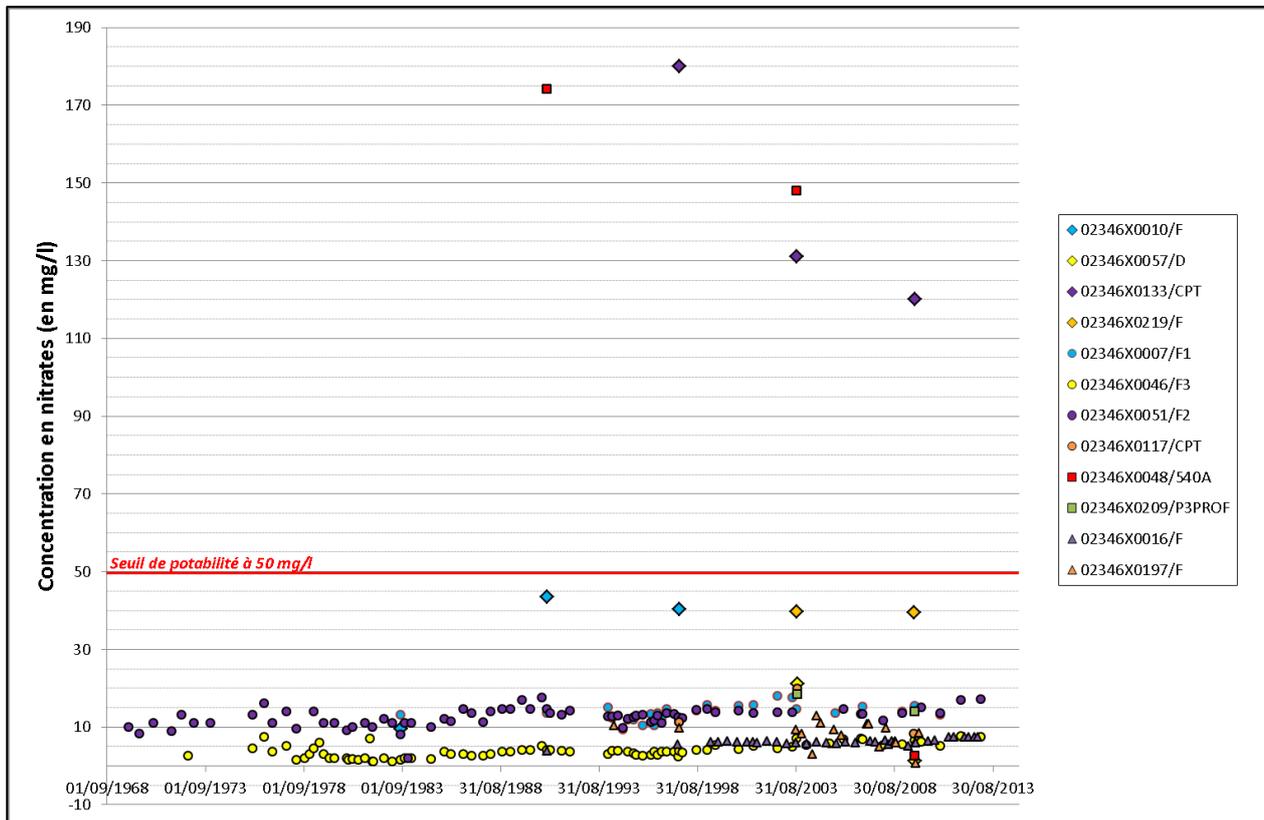


Illustration 25 : Chroniques nitrates pour les qualitomètres dans ou à proximité du graben de Pfulgiesheim

Les trois puits exploités du champ captant de Lampertheim font régulièrement l'objet d'analyses de la qualité de l'eau. Ils se caractérisent tous trois par une bonne qualité de l'eau captée. En effet, la teneur moyenne en nitrates rencontrée est de 14 mg/l, largement inférieure à la limite de qualité fixée à 50 mg/l et seul un pesticide, le métolachlore, a été détecté à une teneur de 0,05 µg/l, au niveau du puits 2 (SDEA, 2014). Cette valeur reste néanmoins inférieure à la limite de qualité fixée à 0,1 µg/l.

Concernant la problématique des produits phytosanitaires, l'inventaire qualité 2009 du fossé rhénan (APRONA, 2012) mené sur les points d'eau du graben montre que leur grande majorité ne présente pas de problème de qualité pour ces paramètres. Le point d'eau 02346X0057/D présentait en 2003 des valeurs en atrazine, atrazine désisopropyl et atrazine déséthyl toutes trois supérieures ou très proches de 0,1 µg/l mais les mesures réalisées en 2009 ont montré une nette tendance à la baisse et un retour à des valeurs acceptables.

3.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE

3.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2)

Les informations contenues dans la Base de données d'Occupation du Sol v2 confirment le fait que la Haute Terrasse du Kochersberg, et par conséquent le graben de Pfulgriesheim qui en fait partie, constitue l'une des grandes zones agricoles de l'Alsace (cf. Illustration 26).

De manière générale, cette zone agricole est fondée sur une polyculture très diversifiée alliant les cultures de céréales (blé, maïs), les cultures industrielles (betteraves, tabac, houblon), les cultures fourragères en vue d'un élevage bovin à l'étable (viande et lait) à quelques vignes et arbres fruitiers et quelques élevages spécialisés (volailles pour les œufs).

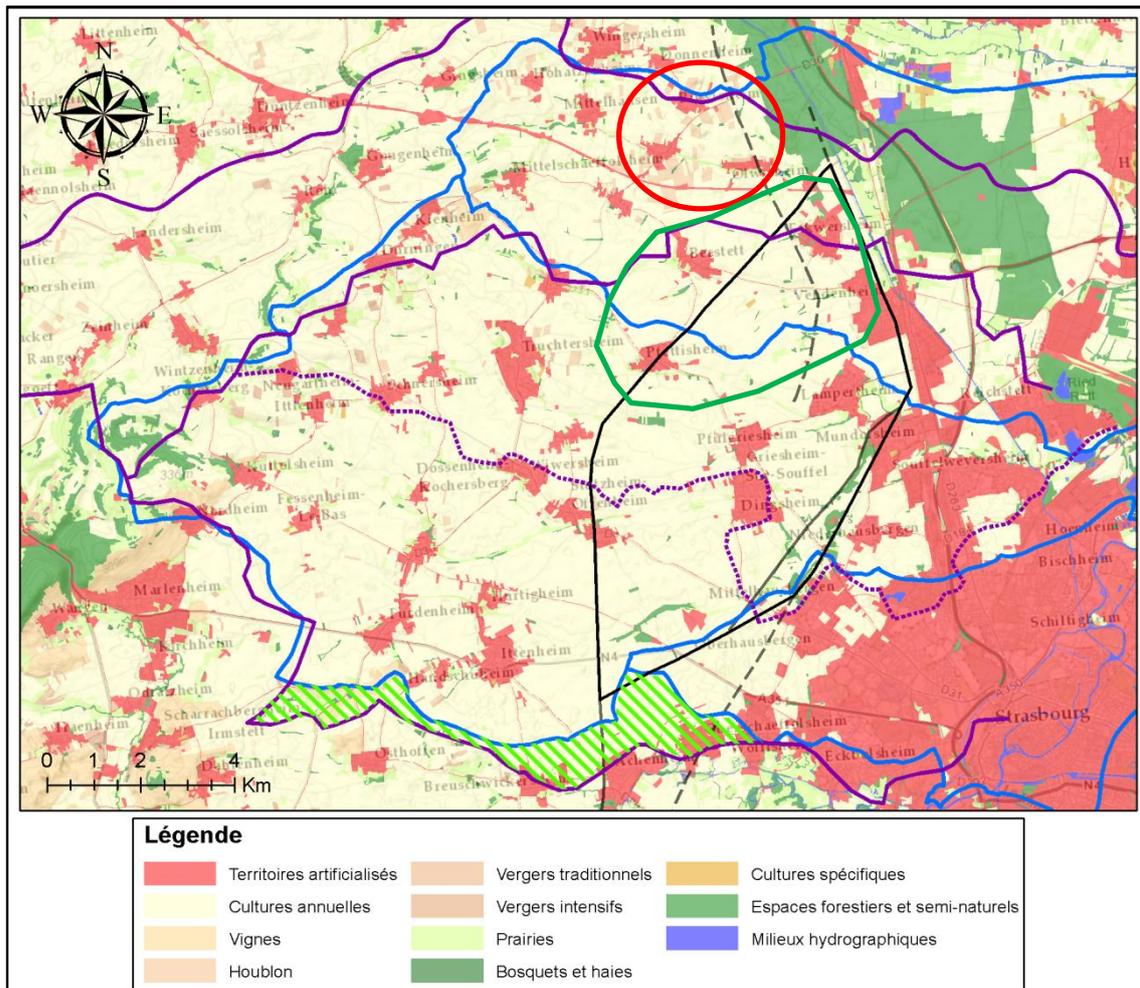


Illustration 26 : Occupation du sol sur la zone d'étude du graben de Pfulgriesheim et en amont, sur la Haute Terrasse du Kochersberg (source : Bd OCS CIGAL v2, années 2011-2012)

Parmi les activités particulières menées dans la zone du graben, les cultures maraîchères de l'asperge et du chou sont assez présentes du côté d'Eckwersheim, Berstett, Pfettisheim, Vendenheim et Lampertheim (zone encerclée de vert sur l'illustration 26).

De même, une concentration de parcelles destinées à la culture spécialisée du houblon est constatée du côté de Mittelschaeffolsheim, Bilwisheim et Olwisheim (zone encerclée en rouge sur l'illustration 26).

3.5.2. Comparaison épaisseur de ZNS et IDPR

L'illustration 27 ci-dessous oppose les résultats du calcul de l'IDPR, permettant de différencier qualitativement les terrains favorisant le ruissellement de ceux favorisant l'infiltration, avec l'épaisseur moyenne de la zone non saturée, donnée déjà utilisée pour la détermination des bassins versants souterrains moyens ainsi que des drains souterrains principaux.

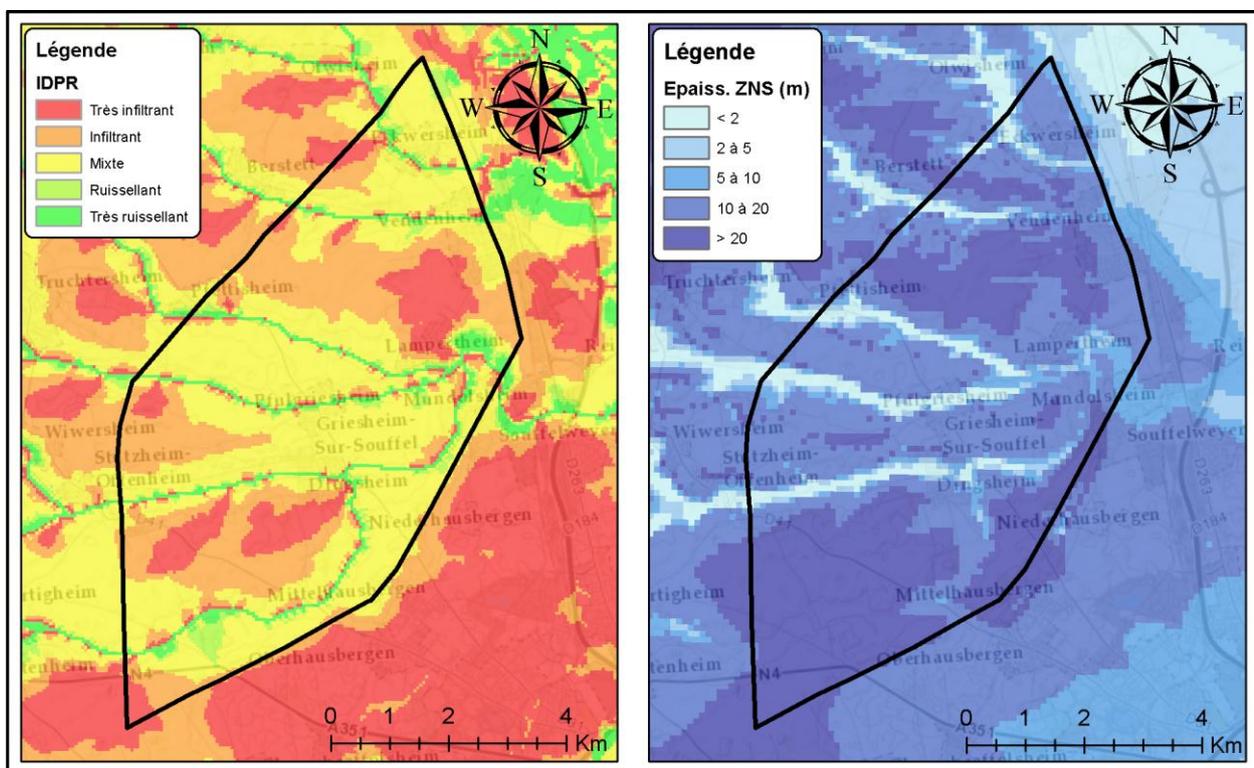


Illustration 27 : Comparaison IDPR et épaisseur de Zone Non Saturée – zone du « graben de Pfulgriesheim »

La zone du graben présente une épaisseur de ZNS dépassant en moyenne les 10m. Dans sa moitié Sud ainsi que dans un secteur délimité par les communes de Pfettisheim, Vendenheim et Lampertheim, cette épaisseur peut même dépasser 20m. La nappe n'est sub-affleurante qu'au droit des ruisseaux qu'elle semble alimenter. A première vue, la configuration hydrogéologique spécifique de ce secteur, avec cette épaisse ZNS au sein des dépôts de lœss recouvrant les alluvions rhénanes aquifères, favoriserait le retardement du transfert d'éventuels polluants.

Néanmoins, le calcul IDPR met en évidence des secteurs très favorables à l'infiltration qui coïncident assez bien avec les zones à forte épaisseur de ZNS et en amont du graben (notamment une zone spécialisée dans la culture du houblon vers Mittelschaeffolsheim). Malgré le recouvrement complet du graben par des dépôts lœssiques assez épais, le calcul IDPR

semble montrer que ces terrains ne sont finalement pas homogènes avec des zones apparemment plus vulnérables.

Il faut noter que la terrasse loessique de Schiltigheim, en limite Sud-Est du graben, est également caractérisée comme très infiltrante, principalement du fait de l'absence de cours d'eau dans ce secteur par ailleurs particulièrement artificialisé.

3.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan – focus sur les nitrates (Région Alsace, 2012)

Le graben de Pfulgriesheim se caractérise par une moitié Sud relativement épargnée par la problématique des nitrates dans les eaux souterraines (<10 mg/l), au contraire de sa moitié Nord (cf. Illustration 28) et plus particulièrement du secteur de Vendenheim et Eckwersheim, en limite avec le cône de déjection de la Zorn (cf. chapitre 4).

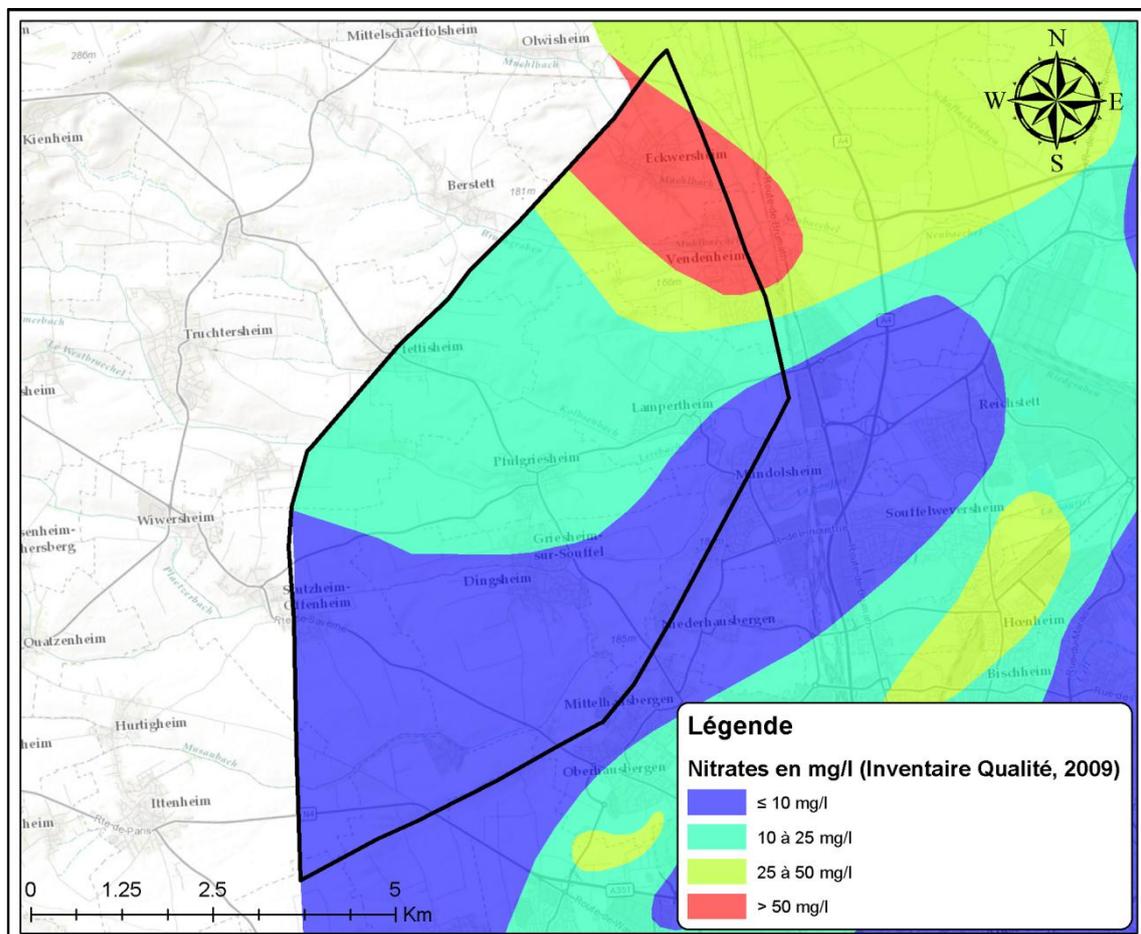


Illustration 28 : Carte des concentrations en nitrates dans les eaux souterraine issue de l'Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan – Graben de Pfulgriesheim (Région Alsace, 2012)

Dans une première approche, le croisement de l'occupation du sol actuelle (cf. Illustration 26) avec les résultats de cet inventaire transfrontalier de la qualité 2009 des eaux souterraines du Fossé rhénan sur les nitrates permet de mettre en avant le fait que les secteurs pour lesquels la concentration mesurée en nitrates dans les eaux souterraines dépasse 50 mg/l, sont les mêmes qui voient la culture historique de l'asperge être pratiquée. Par ailleurs, en amont

immédiat, une densité importante de parcelles destinées à la culture de houblon, betterave à sucre ainsi qu'à la culture céréalière est également observée.

A première vue, ces coïncidences spatiales semblent faire de ces deux pratiques agricoles, les causes possibles de ce problème de forte teneur en nitrates. A la lecture de la carte sur les drains souterrains principaux établis dans le chapitre 3.3.3, il semblerait que l'influence majeure proviendrait plutôt des parcelles situées en amont. Par ailleurs, le calcul IDPR caractérise cette zone amont comme comportant des terrains favorisant clairement le phénomène d'infiltration des eaux, potentiellement chargées en intrants agricoles.

Il reste cependant nécessaire de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses au travers d'une étude locale dédiée à cette problématique spécifique (cf. chapitre 3.6).

3.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE

Ce graben remarquable, en plus de son intérêt pour l'alimentation en eau potable, mériterait des études plus poussées pour en reconnaître les structures et préciser ses limites. Par exemple, la réalisation de **plusieurs profils géophysiques à haute résolution**, localisés perpendiculairement aux failles de Pfettisheim et d'Achenheim, qui constituent les limites Ouest supposées du graben, permettraient de mieux appréhender ce secteur mal documenté, en confirmant (ou non) la présence de ces failles et la période à laquelle elles ont pu jouer. Des **investigations géologiques de terrain complémentaires** semblent également nécessaires pour caractériser les formations affleurantes notamment dans les vallons des ruisseaux en amont et dans le graben.

Il semble qu'historiquement, et à juste titre, cette moitié amont du graben n'ait pas été considérée comme ayant un potentiel hydrogéologique intéressant (épaisseur supposée faible des alluvions aquifères, substratum marneux imperméable à faible profondeur). Néanmoins, ces hypothèses restent à confirmer et, parallèlement aux campagnes géophysiques, il paraîtrait intéressant de réaliser **un ou deux forages d'exploration** à vocation purement scientifique par exemple à l'Ouest de Pfulgriesheim et entre Pfettisheim et Lampertheim. Ces ouvrages feraient l'objet d'une attention particulière dans la description des formations rencontrées, pourquoi pas via un carottage sur des horizons bien définis (lithologie, texture, épaisseur de loess...), et dans la détermination de leur potentiel aquifère (via des essais de pompage...).

Une autre campagne géophysique à haute résolution pourrait être menée en bordure Nord et Nord-Est du graben, vers Eckwersheim et Vendenheim, zone qui s'avère complexe d'un point de vue structural (présence de nombreuses failles supposées) mais aussi d'un point de vue géologique avec la superposition de trois formations potentiellement aquifères, sur de faibles épaisseurs (Terrasse sableuse de la Zorn, Alluvions rhénanes et Sables Pliocène). Peu d'ouvrages y sont bien documentés.

Des incertitudes subsistent également sur l'âge des alluvions sablo-graveleuses rhénanes aquifères remplissant ce graben ; d'autant que l'âge des loess recouvrant ces alluvions est également mal connu (âge Pléistocène indifférencié). Il serait intéressant, à partir des cuttings des forages d'exploration et d'exploitation réalisés du côté de Griesheim-sur-Souffel notamment, d'en **recenser les indices de paléoflores et paléofaunes** qui permettrait de préciser au mieux l'épisode quaternaire de dépôt de ces alluvions et mieux comprendre ainsi les phases successives ayant participé à la mise en place de ce graben.

De même, il n'est actuellement pas possible de différencier systématiquement les affleurements de loëss rissien de ceux de loëss würmien au niveau du graben. Or ces deux contextes de dépôts sont probablement à l'origine de loëss à caractéristiques intrinsèques divergentes, ce qui peut avoir une incidence sur l'effet de retardement de transfert de polluant éventuel vers la nappe sous-jacente. Selon les caractéristiques lithologiques du loëss (présence de silts grossiers ou matrice fine et argileuse), celui-ci présentera une variabilité importante dans sa propension à laisser ruisseler ou à infiltrer l'eau ; variabilité qui est par ailleurs constatée sur le secteur à travers la carte IDPR (cf. chapitre 3.5.2). Une approche possible pour améliorer la connaissance sur cet aspect consisterait à mener **une campagne de carottages dans ces loëss**, en plusieurs points du graben, qui seraient choisis de manière à intégrer toutes les configurations qui y sont rencontrées (différentes épaisseurs de ZNS, différentes zones selon la capacité à infiltrer/ruisseler...etc...). Sur les échantillons recueillis pourraient être réalisées des **mesures de leurs propriétés physico-chimiques et texturales** (porosité) ainsi qu'une **analyse graduée de certains polluants** (tous les 30 à 50 cm par exemple, ordre de grandeur de la distance annuelle parcourue verticalement par l'eau dans un loëss).

De manière générale, un travail d'**analyse de la chimie des eaux captées** par les ouvrages du graben semble nécessaire, sur la base de données historiques et issues de campagnes terrain de prélèvement à mener en hautes eaux et basses eaux. Dans le cas où ces eaux présenteraient des signatures chimiques distinctes selon les secteurs du graben, cela pourrait remettre en question certaines des hypothèses émises dans la présente étude sur l'origine de l'eau. Croiser ces résultats avec ceux issus de **datation des eaux** pourrait également permettre d'affiner la connaissance sur ce point.

Concernant la problématique des nitrates, qui n'est réellement observée que dans la bordure Nord et Nord-Est du graben, il serait intéressant de **réaliser des profils de teneurs en nitrates en fonction de la profondeur**, dans les ouvrages situés (i) dans cette zone, (ii) dans la partie à l'Ouest de cette zone où se pratique notamment la culture du houblon et (iii) encore en amont de cette zone de culture. Ces profils pourraient s'accompagner de **profils nitrates en long, au niveau des ruisseaux** situés dans ce secteur particulier (le **Muhlbach et le Landgraben**) pour en estimer les influences éventuelles. Il semble qu'aucune mesure de la qualité des eaux de surface n'ait été réalisée à ce jour sur ce secteur.

Du point de vue du potentiel pour l'alimentation en eau potable, la zone très peu documentée entre la Souffel et le ruisseau de Musau, au Sud-Ouest de Dingsheim, pourrait s'avérer intéressante. Le contexte hydrogéologique semble assez similaire à celui du côté de Lampertheim (mêmes formations, épaisseur de ZNS importante, terrains favorisant l'infiltration), à l'exception des relations avec les cours d'eau qui semblent inexistantes. **La réalisation d'un forage d'exploration** pourrait permettre d'améliorer la connaissance sur la géologie du secteur tout en évaluant son potentiel aquifère.

Plus à l'Ouest, à Wiwersheim, l'ouvrage 02345X0003/530, cité dans les chapitres précédents, présente la particularité d'être le seul ayant fait l'objet d'un suivi piézométrique sur ce secteur en amont du graben. Le signal mesuré concorde assez bien avec les autres signaux mesurés dans les ouvrages plus en aval. Malheureusement, tout comme les ouvrages avoisinants, ce point d'eau est actuellement mal documenté et des incertitudes subsistent quant à la formation aquifère effectivement captée. De plus il est censé traverser des formations au potentiel aquifère faible (loëss, marnes). Des investigations complémentaires sont nécessaires pour lever les zones d'ombre sur ce secteur, qui semble par ailleurs influencer sur le comportement hydraulique du graben (fouille dans les dossiers de forage, réalisation de forages d'exploration peu profonds ?).

Enfin, quelques hypothèses ont pu être apportées sur les relations nappe/cours d'eau au sein du graben (alimentation des cours d'eau par la nappe – sauf en pour la Musau et la partie aval de la Souffel) qui mériteraient d'être vérifiées sur la base d'autres métriques (jaugeage différentiel, analyses hydrochimiques, modélisation globale ?).

4. Secteur Mommenheim-Brumath-cône de la Zorn

4.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR

4.1.1. Contexte topographique et limites du secteur

La zone de bordure dite de « Mommenheim-Brumath-cône de la Zorn » est située dans le département du Bas-Rhin, au Nord-Ouest de Strasbourg. Elle comprend deux entités paysagères distinctes que sont :

- dans sa moitié Nord, les **collines de Brumath**, localisées en rive gauche de la Zorn entre Wittersheim et Weyersheim ;
- dans sa moitié Sud, une partie du **cône de déjection de la Zorn**, entre Mommenheim et Hœrdt, comprenant notamment les terrasses sablo-caillouteuses localisées de part et d'autre de la Zorn dans sa partie amont.

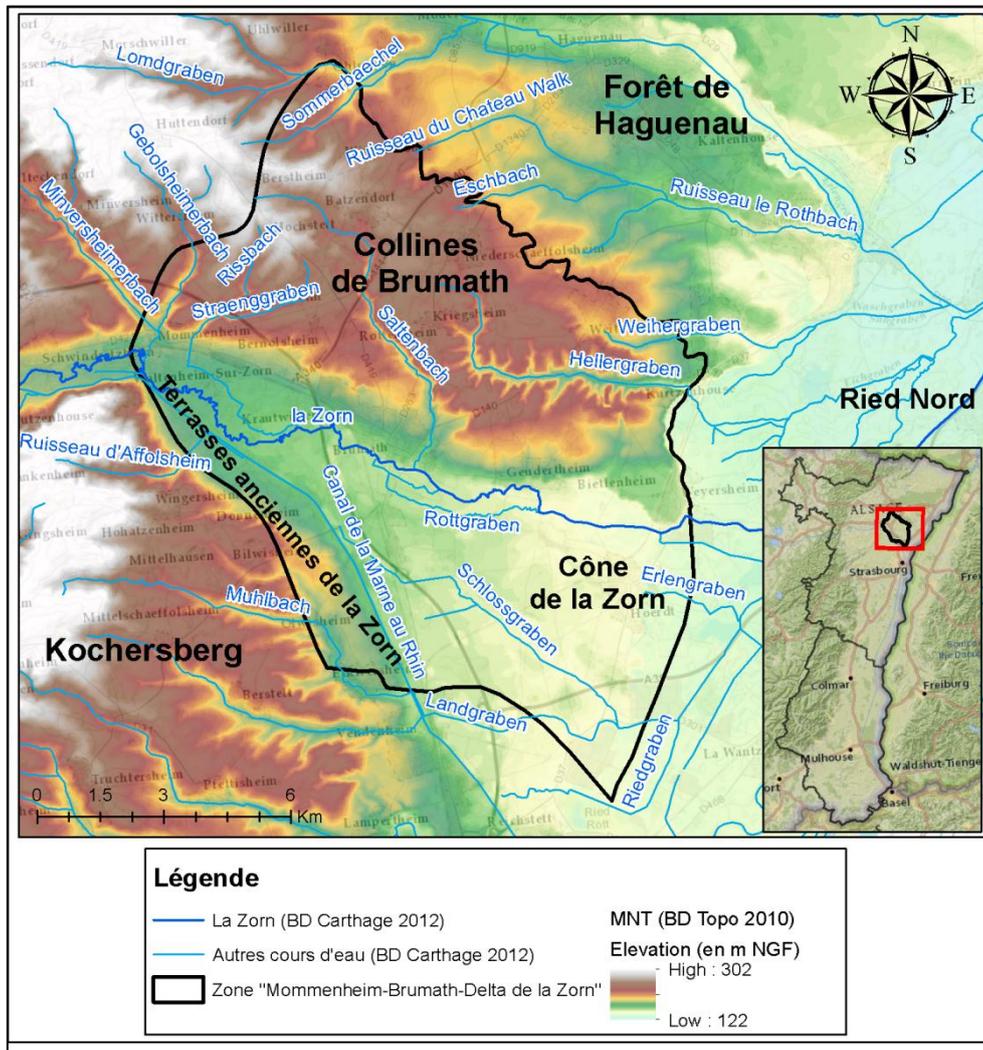


Illustration 29 : Carte d'élévation topographique du secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et de localisation des cours d'eau (MNT : Modèle Numérique de Terrain)

La vallée de la Zorn est assez resserrée dans sa partie amont jusqu'à Mommenheim (limite ouest du secteur). A cet endroit, la rivière franchit le horst bordier du « Golfe de Saverne » puis elle s'élargit quelque peu en aval. Au niveau de Brumath, la vallée s'inscrit sur le bord nord d'un grand éventail ouvert vers le Sud-Est, qui constitue le « cône würmien de la Zorn ». Ce cône domine de quelques mètres la vallée de la Zorn au Nord et la vallée du Rhin à l'Est (talus sinueux bien net qui constitue la limite Est du secteur). Il est dominé d'une part par le rebord Est du Kochersberg dans la région de Vendenheim, d'autre part par une ancienne terrasse de la Zorn à l'Ouest du canal de la Marne au Rhin.

Les collines au Nord de Brumath ont un relief confus et une hydrographie désordonnée et très diversement orientée, avec une prédominance cependant de direction Sud et Est. D'après les travaux menés pour la carte géologique au 1/50000^{ème}, l'existence éventuelle de failles (qui n'ont pu être reconnues) pourrait expliquer le tracé de certains ruisseaux, notamment le coude à angle droit du Hellergraben, de même qu'une certaine dissymétrie des versants, le versant nord étant souvent plus raide (cas du Saltenbach par exemple). Ces collines s'élevant à des hauteurs oscillant entre 170 et 200 m NGF contrastent avec la vallée de la Zorn qui culmine à 150m à Mommenheim et s'abaisse progressivement vers l'Est pour atteindre environ 140m à Hœrdt.

Sur le plan de l'hydrographie, la majorité des affluents de la Zorn dans la moitié amont du cône de déjection s'écoulent dans une direction Nord-Sud et proviennent des collines en rive gauche. Ils contrastent avec les cours d'eau Hellergraben et Weihergraben qui circulent dans ces collines au Nord-Est de Brumath dans une direction Ouest-Est et se jettent dans la Moder.

Le cône würmien constitue dans l'ensemble un milieu sec, très filtrant, que drainent deux petits ruisseaux, le Neubaechel et le Schlossgraben, ce dernier à peu près dans l'axe du cône. Il est également traversé par le canal faisant la jonction entre la Marne et le Rhin. Certains ruisseaux provenant du Kochersberg comme le Muhlbach puis le Landgraben s'écoulent vers l'Est en traversant la partie méridionale du cône de la Zorn.

4.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur

Cette zone de bordure a la particularité de comprendre en son sein plusieurs formations géologiques aquifères, avec des lithologies parfois bien distinctes, et qui peuvent être localement en relation hydraulique les unes avec les autres. En effet, elle correspond à une zone complexe du point de vue hydrogéologique, du fait notamment du débouché de l'aquifère des alluvions vosgiennes de la Zorn et de l'influence des formations pliocènes des collines de Brumath environnantes.

Les premiers travaux de délimitation, menés par Elsass en 2009 et s'appuyant sur le modèle MoNit (projet Interreg III, LUBW, 2002-2006), considéraient comme zones de bordure (cf. Illustration 30 – secteurs hachurés en jaune) :

- les alluvions plio-quadernaires de Haguenau-Riedseltz dans leur globalité (de Brumath à Wissembourg) ;
- une zone en rive droite de la Zorn allant des terrasses anciennes sablo-caillouteuses de la Zorn jusqu'au graben de Pfulgriesheim.

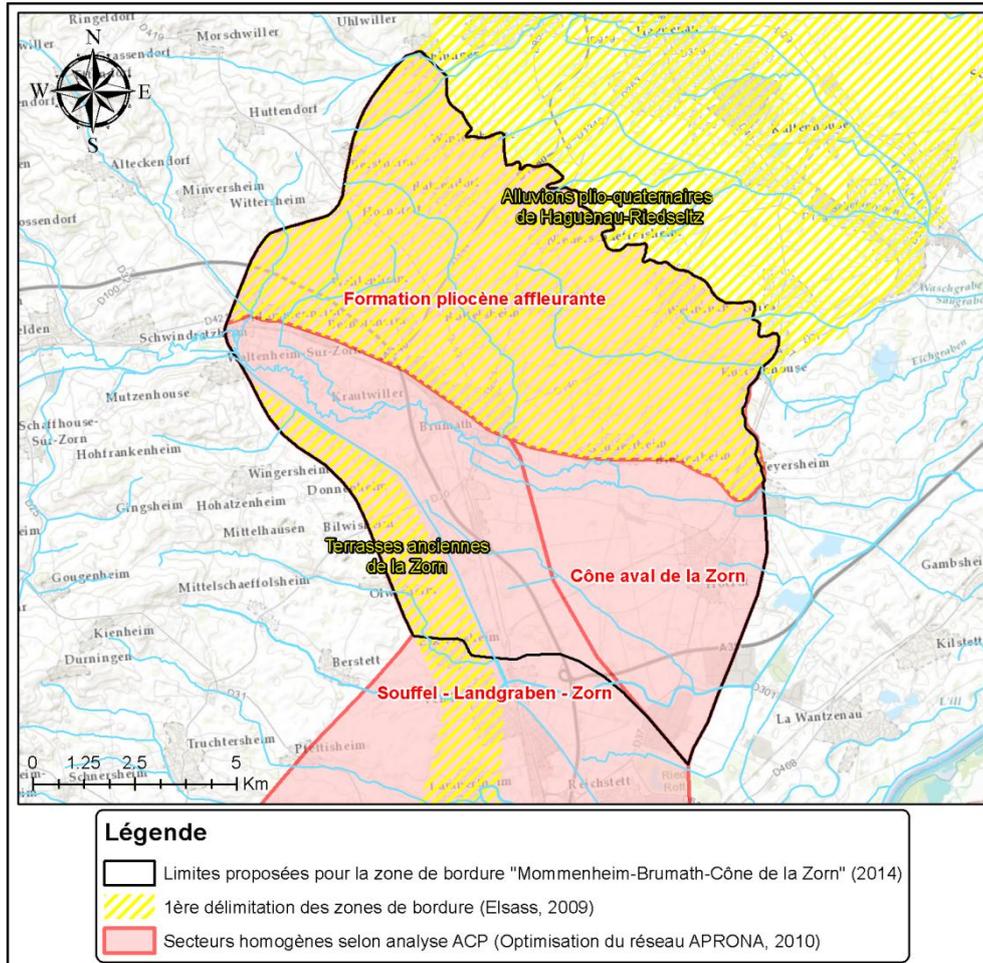


Illustration 30 : Les évolutions dans la définition d'un zonage homogène dans le secteur de la Zorn à travers trois études (Elsass, 2009 – Urban *et al.*, 2010 – Présente étude, 2014)

Les travaux d'optimisation du réseau de surveillance de l'APRONA (Urban *et al.*, 2010) ont permis d'identifier trois secteurs distincts du point de vue des facteurs expliquant les signaux piézométriques (cf. Illustration 30 – secteurs en rouge) :

- Le secteur « Souffel-Landgraben-Zorn » incluant la zone de bordure des terrasses anciennes en rive droite de la Zorn ainsi que la moitié Ouest de son cône de déjection. Les caractéristiques de ce secteur ont été décrites dans le chapitre 3.1.2. Seule sa partie Nord en lien avec la Zorn est considérée ici ;
- Le secteur « Cône aval de la Zorn » qui est un secteur très clairement caractérisé « *par des apports latéraux particuliers ou flux de bordure* ».
- Le secteur « Formation pliocène affleurante entre Zorn et Moder » qui coïncide parfaitement avec la partie Sud-Ouest de la zone de bordure des alluvions plio-quaternaires de Haguenau-Riedseltz cartographiée par Elsass en 2009. Contrairement aux deux autres, la délimitation de ce secteur n'est pas le résultat de l'analyse ACP des signaux piézo-pluie-débit. En effet, aucun point d'eau ayant une chronique piézométrique suffisante n'y avait été répertorié à l'époque. Sa délimitation est issue du référentiel BDLISA (cf. chapitre 4.3.1) et coïncide également avec un précédent travail de sectorisation mené dans les années 1970.

Les contours proposés dans la présente étude (cf. Illustration 30 – secteurs bordé en noir) s'appuient par conséquent préférentiellement sur cette dernière sectorisation, en particulier pour sa limite Est qui correspondrait plus ou moins à la limite de disparition des alluvions vosgiennes de la Zorn.

La limite la plus hypothétique correspond à la limite Sud qui part du secteur « Cône aval de la Zorn » pour rejoindre l'extrémité Sud des terrasses anciennes de la Zorn.

4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

4.2.1. Description générale

Tout comme le graben de Pfulgriesheim, le secteur des collines de Brumath est un pays loessique. Le loess a été déposé sur un bloc tectonique intermédiaire, au cours de phases climatiques froides du Quaternaire, par suite de la déflation éolienne sur les cônes des affluents vosgiens du Rhin que sont, à cet endroit, la Zorn et la Moder (végétation de steppe). Le substratum que recouvre le loess dans la zone au Nord de Brumath est d'âge Pliocène et se raccorde, au Nord, au Pliocène en affleurements étendus de la région de Bischwiller—Haguenau. L'épaisseur du loess ensuite est moins forte que pour le Kochersberg et décroît en allant vers le Nord.

La vallée de la Zorn est constituée de sables et de limons holocènes d'origine vosgienne (sable rose). Sur les bords du cours d'eau, en rive droite comme en rive gauche, de petites terrasses sablo-caillouteuses d'âge relativement ancien sont observées :

- Mindel en rive droite (sables et galets très rubéfiés – voir paragraphe suivant),
- Riss en rive gauche (sables et galets rubéfiés en amont de Krautwiller—Brumath, sables roses à rouges en aval de ces localités).

Le « cône würmien de la Zorn », qui s'ouvre vers le Sud-Est est également à composition essentiellement sableuse (sable rose). Ce cône est dominé d'une part par le rebord Est du Kochersberg dans la région de Vendenheim, d'autre part par une ancienne terrasse mindelienne de la Zorn à l'Ouest du canal de la Marne au Rhin, composée de sables et galets en strates alternativement rubéfiées et décolorées. Sur toutes les terrasses de la Zorn se rencontrent de nombreux indices de l'action éolienne passée : galets éolisés, micro-dunes.

Ces différentes formations sont représentées en Illustration 31, sur la coupe géologique d'orientation S.W-N.E entre Berstett et Geudertheim, réalisée dans le cadre de la carte géologique au 1/50000^{ème}.

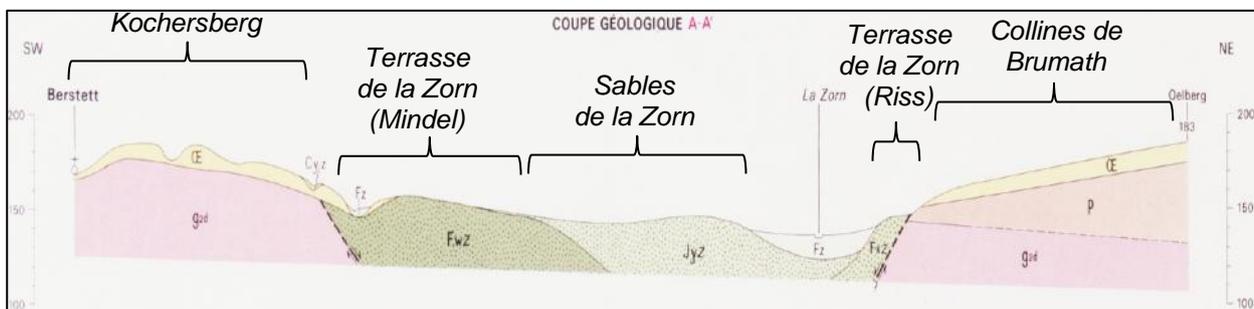


Illustration 31 : Coupe géologique traversant le cône de déjection de la Zorn, entre les villages de Berstett et de Geudertheim (carte géologique au 1/50000^{ème}, BRGM, 1972)

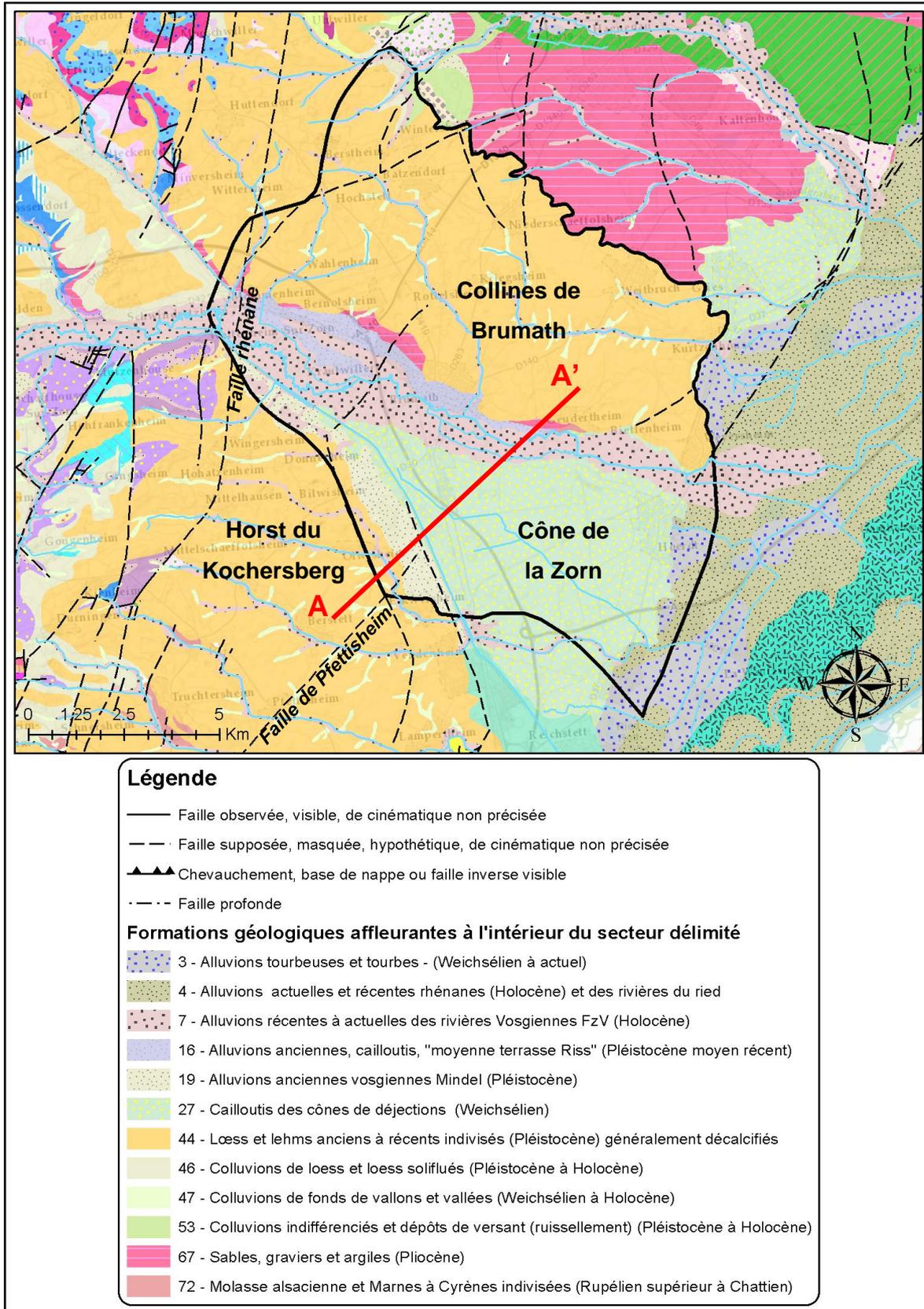


Illustration 32 : Extrait de la carte géologique au 1/50000^{ème} centrée sur le secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » d'après la carte géologique de Brumath-DRusenheim (BRGM, 1972)

L'élément structural essentiel qui constitue la limite Ouest de ce secteur est la faille rhénane de direction S.SW-N.NE⁴. Cette dislocation à fort rejet borde le champ de fractures de Saverne à l'Est ; elle marque conventionnellement la limite entre les faciès conglomératiques de bordure de l'Oligocène ou à défaut les terrains secondaires situés à l'Ouest et les faciès marneux oligocènes du centre du bassin, situés à l'Est. A la hauteur de Mommenheim, cette faille a pu bien être localisée à la suite des prospections pétrolières qui ont été menées dans cette région et son rejet y est estimé entre 1600 à 1800 m - extrapolé d'après le mur du Keuper (BRGM, 1972).

La paléovallée de la Zorn

A son débouché sur la plaine, la Zorn a creusé, à l'époque pliocène, une profonde vallée en direction du Sud-Est (cf. Illustration 33), pour rejoindre probablement les eaux de la partie occidentale du bassin alpin du Rhin qui s'écoulaient selon un paléo-Doubs vers la plaine de la Saône et la Méditerranée (Menillet, 1995).

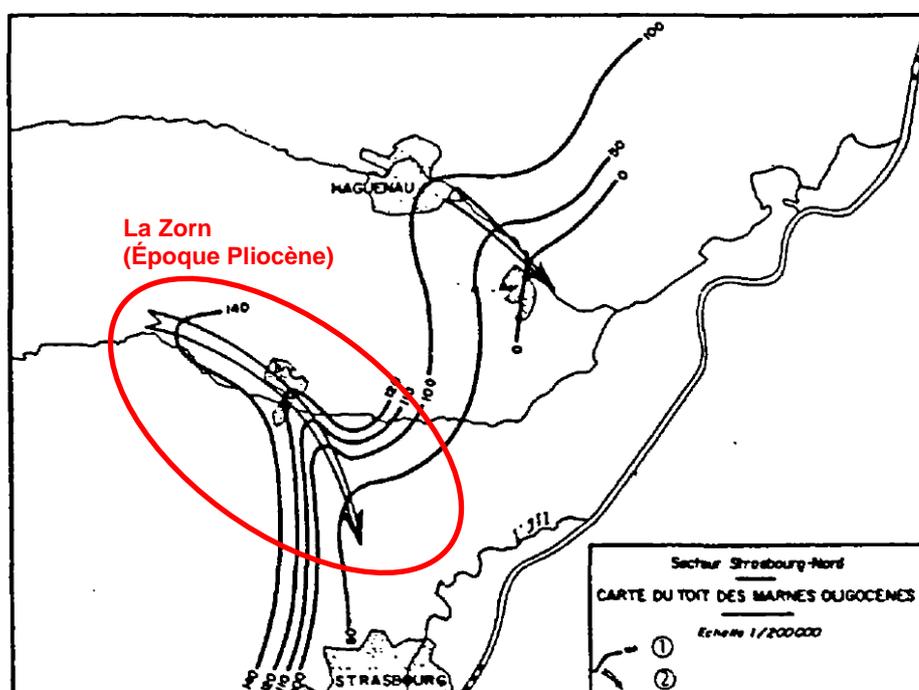


Illustration 33 : Paléovallées pliocènes dans la région de Strasbourg. Les courbes de niveau sont établies au toit de l'Oligocène. 1 : courbe de niveau du toit des marnes et sa cote, 2 : dépression (Simler et Millot, 1967)

D'après Vogt (1992), cette paléovallée, probablement profonde de plusieurs dizaines de mètres, a été remblayée d'alluvions vosgiennes durant le Pléistocène, la rivière migrant vers le Nord, en édifiant un vaste cône, à la partie supérieure du Quaternaire moyen et au Quaternaire supérieur (cf. Illustration 34).

⁴ Sud-Sud-Ouest / Nord-Nord-Est

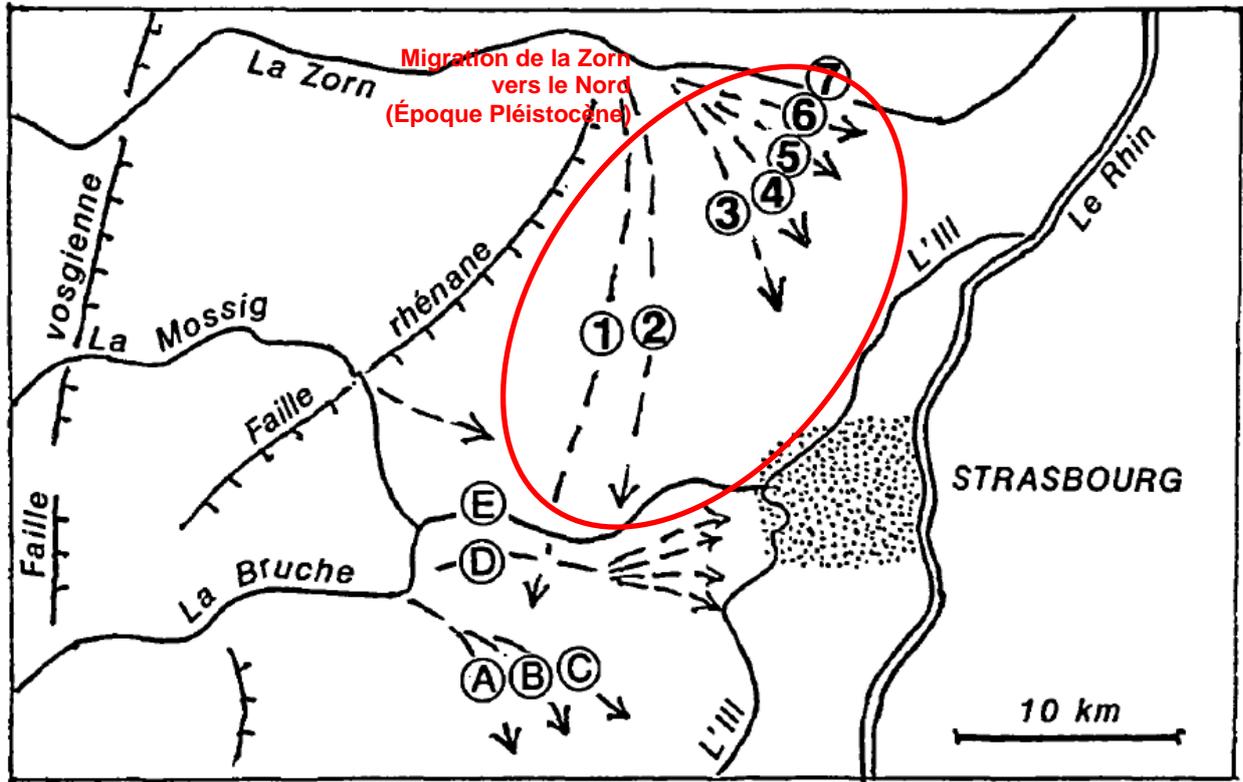


Illustration 34 : Migration du cours de la Zorn (1 à 7) vers le Nord, au cours du Quaternaire (d'après Vogt, 1992)

Ces vallées fossiles sont des témoins des anciens cours d'eau qui ont érodé le substratum marneux avant le dépôt des couches du Plio-Quaternaire et elles ont un impact non négligeable sur la transmissivité de la nappe qui y est plus importante dans ces zones (Simler et Millot, 1967).

4.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011)

La carte des formations superficielles (Urban et Boucher, 2011) confirme la présence à l'affleurement, sur les collines de Brumath, d'un multicouche de loëss, parfois entaillé de colluvions loëssiques au bas des petits talwegs formés par les affluents de la Zorn et de la Moder. Les travaux menés dans le cadre de cette carte ont permis d'estimer l'épaisseur de ces loëss en divisant les collines en trois secteurs :

- entre Mommenheim et le ruisseau le Rissbach, 9 points d'observation recensés permettent d'estimer l'épaisseur moyenne des loëss à environ 18m. Des poupées de loëss y sont observées (concrétions calcaires généralement observées en partie inférieure des loëss) ;
- entre le ruisseau le Rissbach et le ruisseau le Saltenbach, le recensement de 21 points d'observation permet d'estimer l'épaisseur moyenne des loëss dans ce secteur autour de 16m ;
- entre le ruisseau le Saltenbach et la limite Est du secteur, 16 points d'observation recensés ont montré une épaisseur moyenne de loëss à 12m.

L'épaisseur des loëss semble diminuer en direction de l'Est mais reste, en moyenne, toujours assez conséquente (supérieure à 10m). Bien que ces loëss puissent, de par leurs propriétés

intrinsèques, constituer localement des petits aquifères perchés (supposément captés par certains puits – cf. chapitre 4.4), les sables fins à grossiers du Pliocène situés en-dessous constituent le premier véritable aquifère rencontré au niveau de ces collines.

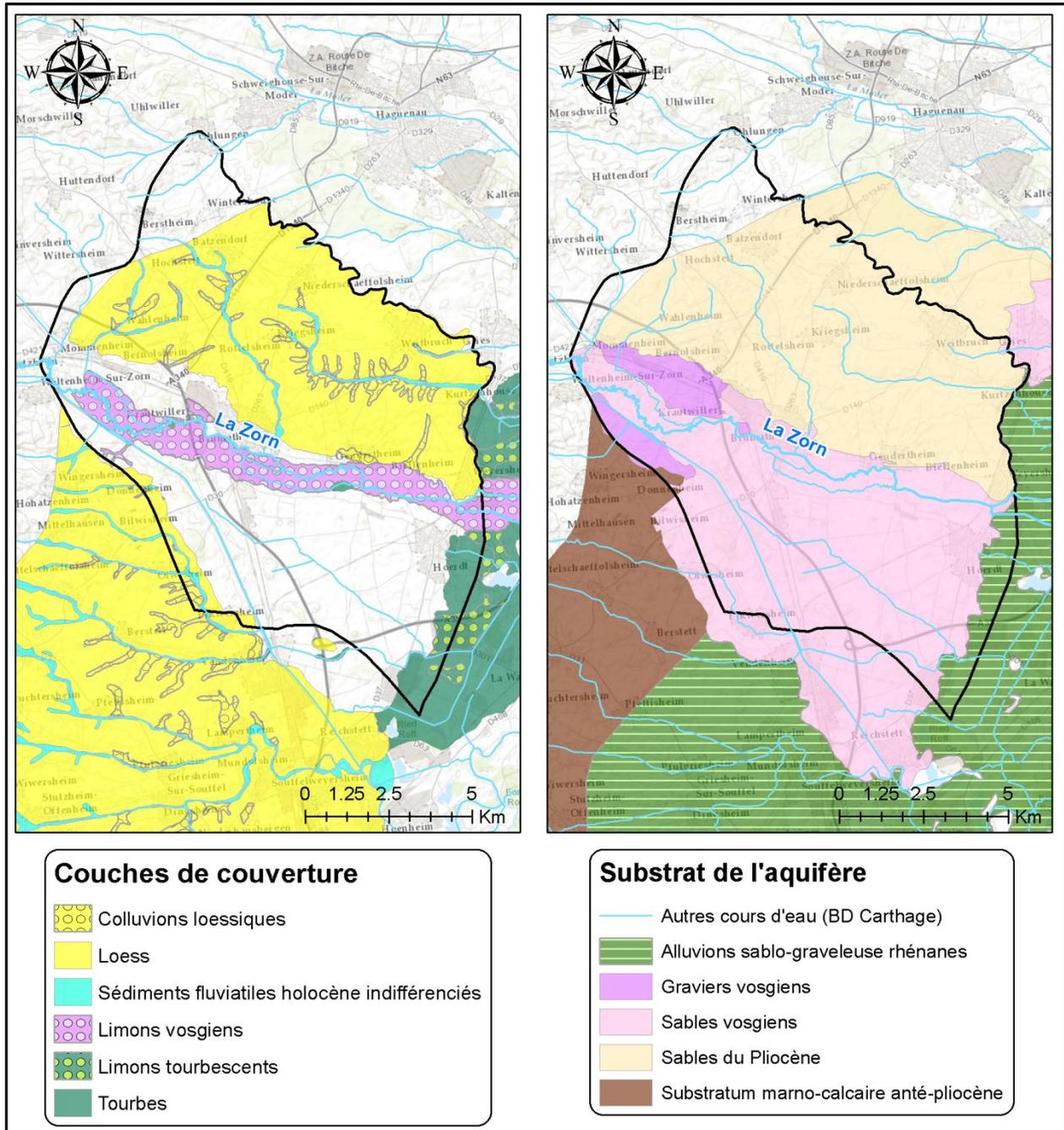


Illustration 35 : Cartographie des formations superficielles dans la zone Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn - à gauche, les formations récentes de couverture, à droite le substrat des formations aquifères (d'après Urban et Boucher, 2011)

Dans la vallée de la Zorn, les limons récents associés au cours d'eau ne dépassent pas 3m d'épaisseur. Ils surmontent les alluvions sableuses, constituées essentiellement de sable quartzeux à enduit ferrugineux ou argilo-ferrugineux, lui donnant une teinte rose rouge, avec des interstratifications de petits galets de quartz et de quartzite, matériaux remaniés des grès du Buntsandstein (Trias inférieur, principalement le Grès vosgien). Ces alluvions s'étendent en

éventail sur l'ensemble du cône de déjection de la Zorn et peuvent atteindre jusqu'à 20m d'épaisseur.

Dans la partie amont du cône, en rive droite et gauche du cours d'eau, sont observées des terrasses anciennes plus caillouteuses, épaisses en moyenne de 3m (12 points d'observation).

4.2.3. Description des formations géologiques principales rencontrées à l'affleurement

La Molasse alsacienne et les Marnes à Cyrènes indivisées de l'Oligocène

Un affleurement de cette formation est cartographié par Dubois à Geudertheim. Néanmoins, des études géophysiques postérieures à la réalisation de la carte géologique de Brumath-Drusenheim (1972) ont démontré l'absence de terrains oligocènes affleurants à Geudertheim. Néanmoins, ces formations sont bien présentes sous couverture des sables du Pliocène au niveau des collines de Brumath.

Les sables, graviers et argiles du Pliocène

Les formations sableuses du Pliocène affleurent en bas des flancs des collines de Brumath, en rive gauche de la Zorn, à Mommenheim, au Nord-Ouest de Brumath et à Geudertheim. Elles sont recouvertes par les loess quaternaires des collines et se retrouvent de nouveau à l'affleurement du côté d'Haguenau.

Le Pliocène supérieur présente un granoclassement positif, les grains varient de la taille des silts en haut de la série à la taille des sables, des graviers voire des couches conglomératiques à la base de la série (Morel et Ungemach, 1971). Ces différentes granulométries rencontrées résultent de la grande variabilité du lit des anciens cours d'eau et de leur dynamique alternant des phases de périodes agitées et calmes.

Ces formations présentent de nombreuses lentilles argileuses grises témoignant du passé fluvio-lacustre des alluvions du Pliocène et d'une structure anastomosée complexe. Elles sont notamment observables dans une carrière située à l'Ouest de Mommenheim (BRGM, 1972). Ces passées argileuses, très variables spatialement, peuvent résulter d'une vaste zone d'épandage des rivières vosgiennes où l'énergie de transport diminuait en s'éloignant des Vosges (APRONA, 2013).

Contrairement aux alluvions rhénanes constituées de sables, graviers et galets gris verdâtres recouvertes de limons tourbeux brunâtres, les alluvions pliocènes sont fortement décalcifiées et décolorées, elles présentent des teintes gris-blanc. Cet aspect décoloré est dû à la perte d'une grande partie du fer des sables rouges vosgiens dont elles sont issues (De Baulny, 1966).

Les formations du Pléistocène

- **Cailloutis et sables en rive droite de la Zorn ou « Terrasse mindelienne de la Zorn » (Mindel)**

Il s'agit d'un dépôt d'origine vosgienne actuellement en position de terrasse sur la rive droite de la Zorn dans le secteur compris entre Waltenheim et Vendenheim. Sa lithologie varie d'un faciès grossier caillouteux entre Waltenheim et le Nord-Est de Donnenheim à un faciès plus sableux du Nord-Est de Donnenheim à Vendenheim (particulièrement en surface).

Le matériel grossier est constitué de galets de quartzite blanc pris dans une matrice sablo-argileuse. La couleur rouge de l'ensemble du matériel témoigne de l'important épisode de pédogenèse caractérisant l'Interglaciaire Mindel-Riss, période ayant permis la conservation des oxydes de fer. Au Nord-Est de Donnenheim se rencontrent en surface quelques galets éolisés qui attestent la violence et la constance des vents à la fin du Würm.

- **Cailloutis et sables en rive gauche de la Zorn ou « Terrasse rissienne de la Zorn » (Riss)**

Ce dépôt d'origine vosgienne est représenté par des lambeaux de terrasses conservés sur la rive gauche de la Zorn entre Mommenheim et Geudertheim. L'ouvrage 02342X0021/SGE situé à Krautwiller en a recoupé une épaisseur de 7m environ pour retrouver ensuite les sables Pliocène.

De couleur brun-rouille, ce matériel est beaucoup plus grossier que celui du Würm (voir ci-dessous). Vers Brumath se produit un changement de granulométrie, les dépôts essentiellement caillouteux à l'Ouest devenant exclusivement sableux à l'Est, où ils sont en partie recouverts par des colluvions loessiques. Les dépôts grossiers rissiens se retrouvent sous 2,40 m de sables würmiens à Stephansfeld.

- **Graviers rhénans rissiens et Alluvions sablo-graveleuses rhénanes würmiennes – formations non affleurantes**

Les graviers rhénans rissiens ont été reconnus principalement en dehors de la zone de bordure du côté de Bischwiller et Offendorf. Les sables et graviers rhénanes würmiennes existent quant à elles à faible profondeur, sur toute l'étendue de la basse plaine rhénane (limite est de la zone de bordure) et sont recouverts par des alluvions tardiglaciaires et holocènes (Ried de Weyersheim).

Ces formations d'origine rhénane sont présentes dans la partie aval du cône de déjection de la Zorn, sous les alluvions vosgiennes mais leur extension vers l'ouest est mal connue. Seuls quelques forages réalisés vers Geudertheim et Hœrdt ont permis de mettre en évidence ces formations, sur quelques mètres d'épaisseur (cf. paragraphe suivant).

- **Cailloutis des cônes de déjection de la Zorn (Würm)**

Cette formation se compose de sables quartzeux roses ou rouges, parfois décolorés avec des galets de quartzites. D'après les coupes de forages, l'épaisseur de cette formation varie de 10 à 20m par endroit, entre Mommenheim et Brumath.

Plus en aval, l'épaisseur de cette formation est plus délicate à estimer car la distinction avec les alluvions rhénanes sous-jacentes est parfois difficile. On parlera alors d'alluvions Riss à Würm indifférenciées. Néanmoins, certaines coupes de forages (02343X0022/F2 à Geudertheim et 02343X0174/FGE à Hœrdt) distinguent une épaisseur de 7 à 8m d'alluvions würmiennes vosgiennes de couleur rouge recouvrant les alluvions gris-blanc d'origine rhénanes, probablement rissiennes.

A Stephansfeld, les sables présentent dans leur assise supérieure une esquisse de pavage éolien (concentration des granules de quartz) et sont recouverts par 0,40 à 0,50 m de lehm. Cette esquisse de pavage atteste de la violence et de la constance des vents à la fin du Würm.

Ce cône würmien de la Zorn a la forme d'un éventail ouvert sur la plaine rhénane. L'épaisseur de sa partie centrale est mal connue car peu d'ouvrages y sont recensés. Il se termine à l'aval

par un rebord net de quelques mètres au-dessus de la plaine rhénane qui est, pour cette raison, souvent appelé « terrasse de Hœrdt » et qui correspond à peu près à la limite Est de la zone de bordure.

- **Lœss et lehms anciens et récents indivisés des collines de Brumath**

Tout comme pour les lœss du Kochersberg, décrits dans le chapitre 3.2.3, il n'est actuellement pas possible de différencier, au sein des collines de Brumath, les affleurements de lœss rissien de ceux de lœss würmien, à l'exception d'un affleurement situé à Geudertheim et pour lequel ces deux types de lœss seraient séparés par 10cm de sable würmien (BRGM, 1972).

Les épaisseurs de ces lœss peuvent être particulièrement conséquentes. A titre d'exemple, l'ouvrage 02343X0141/RECO, localisé à Weitbruch, en a recoupé près de 33m avant de rencontrer les sables du Pliocène.

Les formations de l'Holocène

- **Alluvions récentes à actuelles des rivières vosgiennes**

Ces dépôts récents constituent le lit majeur et le champ d'inondation actuel de la Zorn. Lorsqu'ils sont principalement sableux, ils présentent une teinte rose, comme dans la région de Weyersheim (limite Est du secteur) ; lorsqu'ils sont limoneux, ils prennent une couleur beige, brune ou noire.

En dehors de la vallée de la Zorn, ces dépôts constituent le fond alluvial des petits ruisseaux entaillant les collines de Brumath et sont, dans ce cas, très limoneux car ils proviennent du remaniement des lœss présents à l'affleurement.

4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

4.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA

Les travaux menés dans le cadre du référentiel hydrogéologique BDLISA (Urban *et al.*, 2013) ont permis de mieux cerner l'organisation verticale des formations qui présentent un intérêt du point de vue hydrogéologique. Le secteur d'étude peut ainsi être scindé en trois zones distinctes (cf. Illustration 36).

Dans la moitié amont du cône de déjection de la Zorn, deux aquifères se superposent séparés par un intercalaire argileux très peu épais (de l'ordre de 20 cm à 1 m) et discontinu. L'aquifère des alluvions quaternaires vosgiennes de la Zorn est sub-affleurant et recouvre les sables du Pliocène, également aquifères. Ces deux formations présentent chacune leur propre aire d'alimentation mais ces intercalations argileuses discontinues font que leur limite de séparation est plus ou moins nettement marquée et que des échanges verticaux peuvent se produire, constituant par endroits un seul et unique aquifère Plio-Quaternaire (Tridon et Toulet, 2013). Le mur de cet ensemble est constitué sur la totalité du secteur par les marnes sous-jacentes de l'Oligocène.

Dans la moitié aval du cône de déjection de la Zorn, les alluvions anciennes d'origine rhénane s'intercalent entre les alluvions vosgiennes et les sables Pliocène, en augmentant en puissance en allant dans la direction Est-Sud-Est. Le positionnement de cette limite d'apparition des alluvions rhénanes reste néanmoins assez incertaine car très dépendante de la qualité des descriptions des coupes géologiques des forages en présence. Une zone singulière apparaît du

simplifiées ont été réalisées selon les secteurs. La coupe la plus méridionale, présentée en Illustration 37, correspond totalement au contexte rencontré au sein des collines de Brumath.

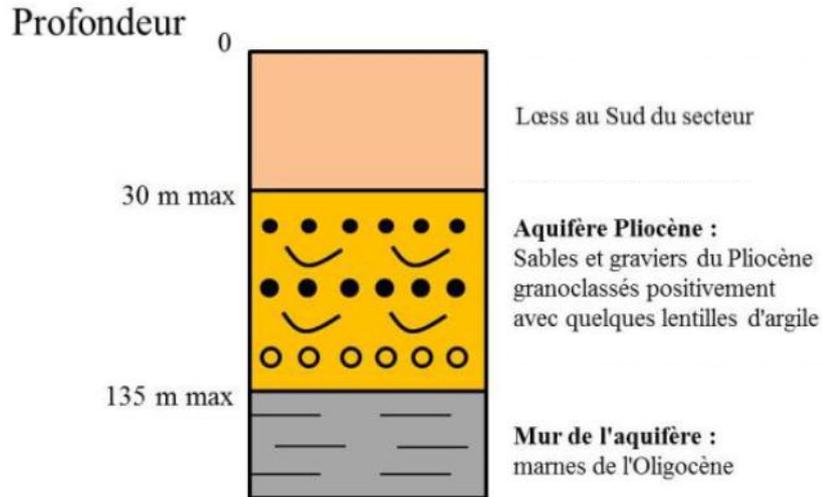


Illustration 37 : Coupes schématiques simplifiées des formations aquifères rencontrées au niveau des collines de Brumath (d'après APRONA, 2013)

Dans ce secteur, la nappe des Sables du Pliocène présente un aspect libre à semi-captif. Par ailleurs, la couverture de limons lœssiques peut, par endroits, potentiellement retenir une nappe superficielle perchée (Babot Y., Krebs G., 1982), semble-t-il, captée par certains des ouvrages décrits dans le chapitre 4.4.

4.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des alluvions de la Zorn

Valeurs de caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

Les alluvions sablo-graveleux du cône de déjection de la Zorn, localement recouvertes de lœss, constituent un important aquifère qui s'écoule de l'Ouest vers l'Est avec un gradient moyen de 0,1%. Des pompages d'essai menés sur des ouvrages captant la nappe contenue dans ces alluvions vosgiennes ont permis d'estimer sa transmissivité à entre 4 et 200 10^{-3} m²/s (Source : BSS EAU). De même, la perméabilité moyenne de la nappe varie entre 2 et 20 10^3 m/s. Un pompage d'essai réalisé sur l'ouvrage 02343X0023/F3, situé au Nord de Hoerdt, a permis d'estimer son débit critique à 240 m³/h.

Zones de recharge

La nappe superficielle contenue dans les alluvions de la Zorn est principalement alimentée par les précipitations et par la nappe Pliocène rechargée sur les collines lœssiques de Brumath (contributions associées à des flux de bordure dans l'Illustration 38).

Néanmoins, cet aquifère peut également bénéficier d'infiltrations de la Zorn et du canal de la Marne au Rhin. C'est ce qui est observé pour deux ouvrages du champ captant de Mommenheim (02341X0143/F7 et 02342X0193/P8), pour lesquels une datation des eaux captées en leur sein a montré une eau jeune de 2 à 3 ans et un renouvellement des eaux souterraines rapide pour ces ouvrages (cf. Illustration 38).

Ouvrages	Age moyen des eaux souterraines (années)	Contributions			ruisseaux des collines avoisinantes
		Précipitations directes	Flux de bordure	Zorn & canal Marne au Rhin	
02341X0022/F1	0-6	9%	82%	3%	6%
02341X0023/F3	0-6	11%	86%	1%	3%
02341X0024/F4	0-6	12%	82%	2%	4%
02341X0053/F5B	0-6	12%	38%	48%	2%
02341X0046/F6	0-6	13%	71%	11%	4%
02341X0143/F7	0-6	14%	24%	66%	3%
02342X0193/P8	0-6	25%	26%	44%	2%

Illustration 38 : Champ captant de Mommenheim – structure d'âge des eaux et contributions (Urban et al., 2013)

Battement de la nappe

De manière générale, le battement annuel de la nappe des alluvions de la Zorn varie de 1 à 3 mètres. Il est en moyenne de 2m au droit du piézomètre 02341X0037/P0Z37 situé à Mommenheim, très influencé par les pompages au voisinage immédiat (statistiques ADES calculées pour la période 2009-2014). Au Sud de Geudertheim, l'ouvrage 02343X0061/323B présente un battement annuel moyen de 0,8m (statistiques ADES calculées pour la période 1986-2014). En limite Est du secteur d'étude, du côté de Hoerdt, les deux piézomètres ADES montrent des battements moyens inférieurs, de l'ordre de 0,6 à 1 m. Pour plus d'informations sur ces piézomètres, se diriger vers le chapitre 4.4.2.

4.3.3. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des sables du Pliocène au sein des collines de Brumath

Valeurs de caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

Les études menées sur l'aquifère du Pliocène au niveau de la terrasse d'Haguenau-Riedseltz ont montré que la perméabilité de l'aquifère augmente en profondeur du fait du granoclassement positif des sables. Dans ce secteur, la littérature annonce une perméabilité moyenne pour ces sables pliocènes de l'ordre de 10^{-4} m/s, soit dix fois inférieure à celle des alluvions rhénanes (Simler L., 1976).

Les calages du modèle hydrodynamique réalisé dans le cadre de la synthèse hydrogéologique de la terrasse d'Haguenau-Riedseltz (APRONA, 2013) ont amené à appliquer une perméabilité encore plus faible ($7,6 \cdot 10^{-6}$ m/s) dans le secteur Sud-Ouest de cette nappe sous les loess épais, au niveau des collines de Brumath.

A noter la seule valeur de transmissivité, disponible dans la BSSEAU et qui concerne l'ouvrage 02341X0046/F6 captant cette nappe du côté de Mommenheim, est estimée à $28 \cdot 10^{-3}$ m²/s, pour un débit critique estimé à 200 m³/h.

A Mommenheim, un débit critique de 300 m³/h a été estimé pour l'ouvrage 02341X0143/F7 mais il faut noter que, au vu du positionnement de ses crépines, celui-ci semble capter un mélange d'eau provenant à la fois de la nappe des sables du Pliocène et de celle des alluvions de la Zorn.

Zones de recharge

En amont des collines loessiques de Brumath, la nappe Pliocène est essentiellement alimentée par les précipitations puis l'eau infiltrée transite essentiellement au sein des formations pliocènes des collines, recouvertes par le loess, dans une direction NE-SO, vers le cône de la Zorn. Par endroit, l'eau ruisselant sur les loess et en sub-surface s'infiltré dans les alluvions du Pliocène, ce qui constitue un apport supplémentaire aux précipitations (De Baulny H., 1966). Un effet de drainance au droit de la vallée de la Zorn peut également être observé en situation de pompage.

D'après Babot et Krebs (1982), l'apport d'eau à la nappe située sous les couvertures de loess ne représente que 5 % des précipitations tandis qu'aux zones d'affleurement du Pliocène, la recharge atteint 20 % des précipitations.

Le tableau de l'illustration 38 rend bien compte de la variété des contributions pouvant caractériser des ouvrages censés capter quasi-uniquement l'aquifère du Pliocène. En effet, pour deux ouvrages situés à moins de 100 m l'un de l'autre dans le champ captant de Mommenheim (02341X0053/F5B et 02341X0046/F6), des origines différentes ont été identifiées pour l'eau captée.

Battement de la nappe

Au sein de la terrasse d'Haguenau-Riedseltz, le battement de la nappe des sables pliocènes est dans sa globalité de moins grande importance que dans les alluvions de la nappe rhénane. Dans la nappe du Pliocène, il est en général inférieur au mètre mais peut atteindre 2 mètres sous l'influence des cours d'eau ou des précipitations, ce qui est le cas dans la vallée de la Moder ou au Sud-Ouest de Haguenau (APRONA, 2013). La nappe des sables pliocènes atteint son régime de hautes eaux en mars-avril et son régime de basses-eaux en octobre (Simler L., 1976).

Au sein des collines de Brumath, peu d'ouvrages sont recensés (cf. chapitre 4.4). Ceux qui le sont présentent en général peu d'information sur leurs niveaux piézométriques. Le suivi piézométrique mené entre 1967 et 1976, sur plusieurs points d'eau situés sur le secteur (Niederschaeffolsheim, Rottelsheim, Kriegsheim, Weitbruch, Nord de Geudertheim), a montré que ces ouvrages captaient tous une nappe apparemment très peu influencée par les précipitations et qui présente une cyclicité pluri-annuelle marquée. Seul l'ouvrage 02343X0009/562, situé au Nord de Geudertheim, propose une chronique piézométrique suffisamment longue (1969-1981). La nappe captée présente un battement interannuel maximum de l'ordre de 2 m (cf. chapitre 4.4.2).

4.3.4. Détermination des directions d'écoulement souterrain

La délimitation des bassins versants souterrains et la détermination des lignes de courant associées confirment l'hypothèse d'un apport souterrain global venant de l'Ouest ainsi que celui d'un apport de la nappe des sables pliocènes au niveau des collines de Brumath, en direction du cône de déjection de la Zorn (cf. Illustration 39).

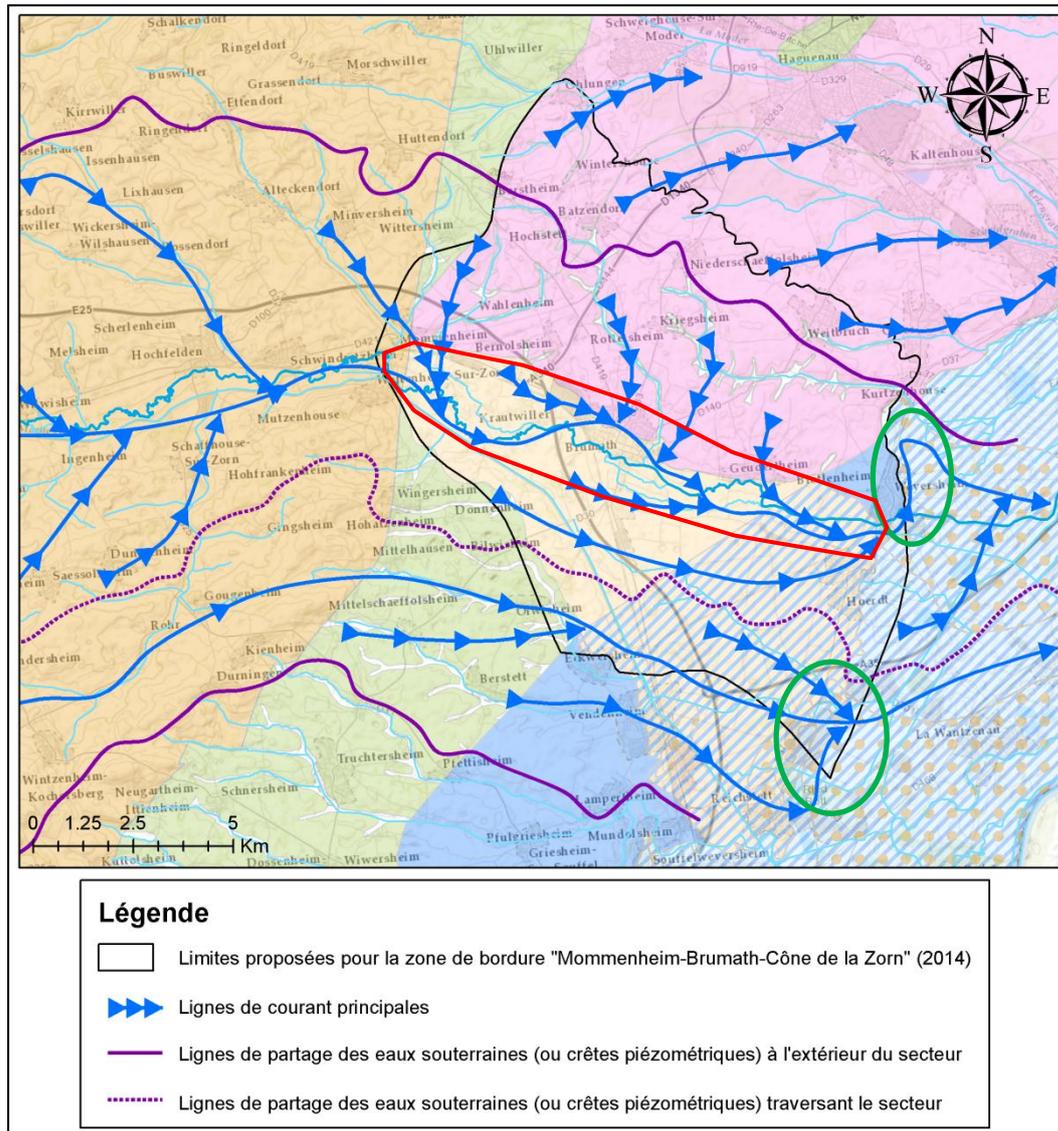


Illustration 39 : Localisation des lignes de courant principales et des lignes de partage des eaux souterraines – Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn

Globalement, les eaux souterraines au sein des premières nappes rencontrées s'écoulent de l'Ouest vers l'Est. Un drain souterrain principal s'observe d'ailleurs, qui suit le cours d'eau de la Zorn. La zone cerclée en rouge correspond à une zone d'écoulement souterrain très nettement influencée à la fois par les champs captant pour l'AEP et par la Zorn.

Une ligne de partage des eaux souterraines traverse le cône de déjection de la Zorn. La partie au Nord de cette limite semble être fortement influencée par le cours d'eau et les champs captant situés à proximité. La partie au Sud de cette ligne voit les écoulements souterrains prendre une direction Nord-Ouest/Sud-Est, suivant probablement la direction de la paléovallée de la Zorn (voir 4.2.1).

En limite Est de la zone d'étude, une inflexion soudaine des écoulements vers le Nord-Nord-Est est observée (zones cerclées de vert sur l'illustration 39). Il s'agit très probablement de la zone au sein de laquelle l'influence de la nappe des alluvions récentes rhénanes, qui s'écoule dans une direction similaire, prend le pas sur les écoulements Ouest-Est dans les alluvions vosgiennes. Cette observation légitimerait la limite Est de la zone de bordure.

Au niveau des collines de Brumath, les écoulements souterrains au sein de la nappe des sables du Pliocène se font globalement du Nord vers le Sud, et rejoignent le drain souterrain principal qui suit le cours de la Zorn. Une ligne de partage des eaux souterraines a été mise en évidence, découpant cette zone particulière, au-delà de laquelle les écoulements souterrains observés dans cette nappe prennent une direction SW-NE vers Haguenau. Cette observation est cohérente avec ce qui ressort du modèle hydrodynamique de la nappe du Plio-Quaternaire réalisé par l'APRONA en 2013 (cf. Illustration 40). En effet, la carte piézométrique moyenne qui y est modélisée montre des directions d'écoulement très similaires et confirme l'hypothèse d'un décalage de la crête piézométrique sur cette zone par rapport à la limite Nord-Est du secteur d'étude.

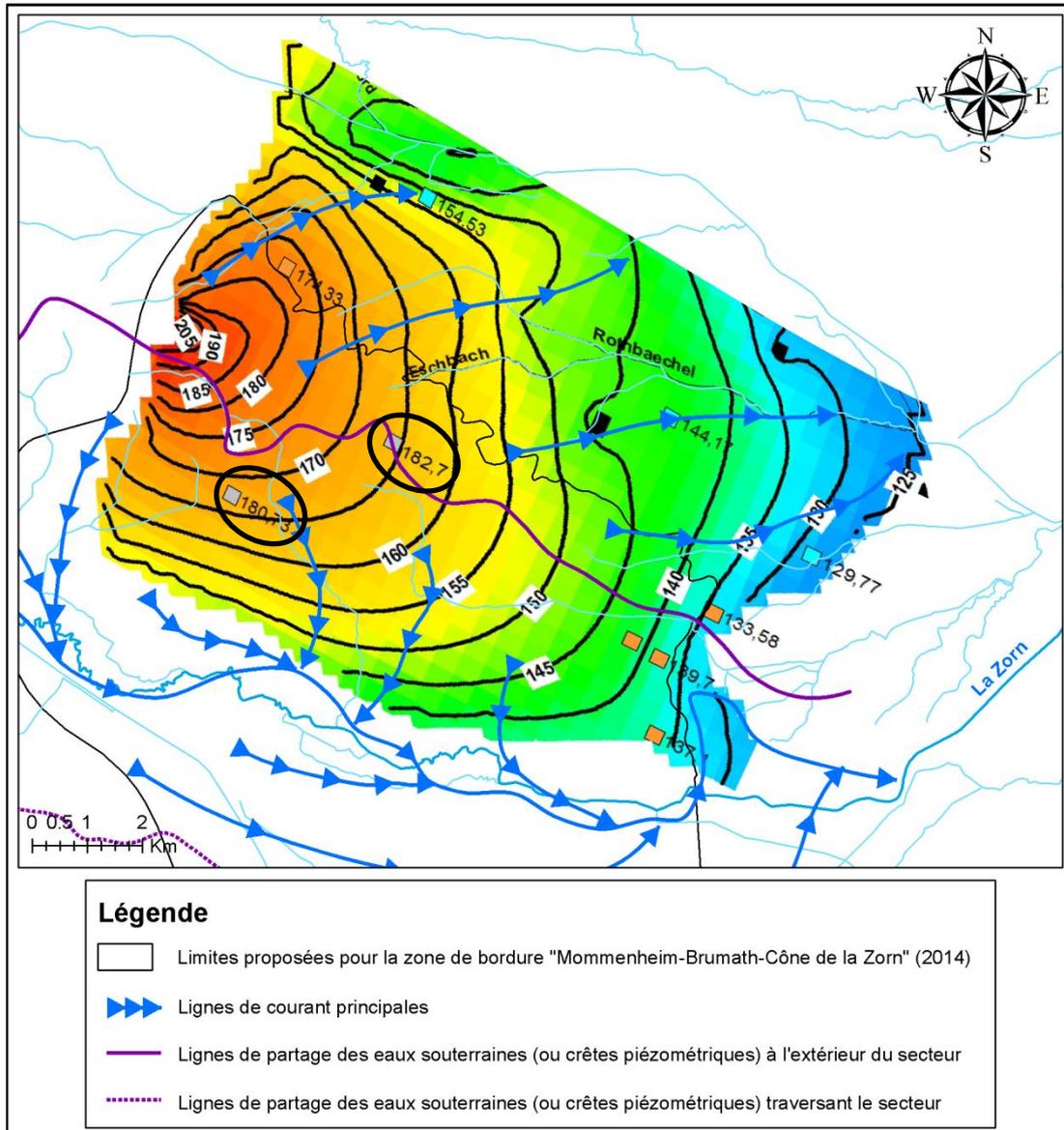


Illustration 40 : Comparaison des lignes de courants principales calculées à partir de la grille d'épaisseur moyenne de la zone non saturée avec la carte piézométrique simulée issue du modèle hydrodynamique de la nappe du Plio-Quaternaire (APRONA, 2013)

Les deux points d'eau dont le niveau de la nappe captée a été mesuré à la côte NGF respective de 180,73m et 182,7m (cercles noirs sur l'illustration 40) n'ont pas été utilisés comme points de calage pour la modélisation. Ces points n'ont en effet pas été jugés représentatifs de la nappe

plio-quaternaire de Haguenau. Selon les auteurs, Il est possible que ces ouvrages ne mesurent que le niveau d'eau d'une nappe perchée contenue dans les loess recouvrant les sables du Pliocène. Des éléments d'analyses complémentaires sur le sujet sont présentés dans le chapitre 4.4.2. Au final, il faut noter l'absence de point de calage pour la partie du modèle situé au niveau des collines de Brumath, ce qui accroît son caractère incertain à cet endroit.

La comparaison de ces bassins versants souterrains avec les bassins versants de surface de la Zorn et du Landgraben, issus de la BD Carthage 2012, permet de cibler certaines zones remarquables qui participent, par infiltration et/ou ruissellement en surface, à l'alimentation de cette zone d'étude (cf. Illustration 41). Les secteurs où les limites des deux types de bassin ne coïncident pas sont ainsi mis en évidence.

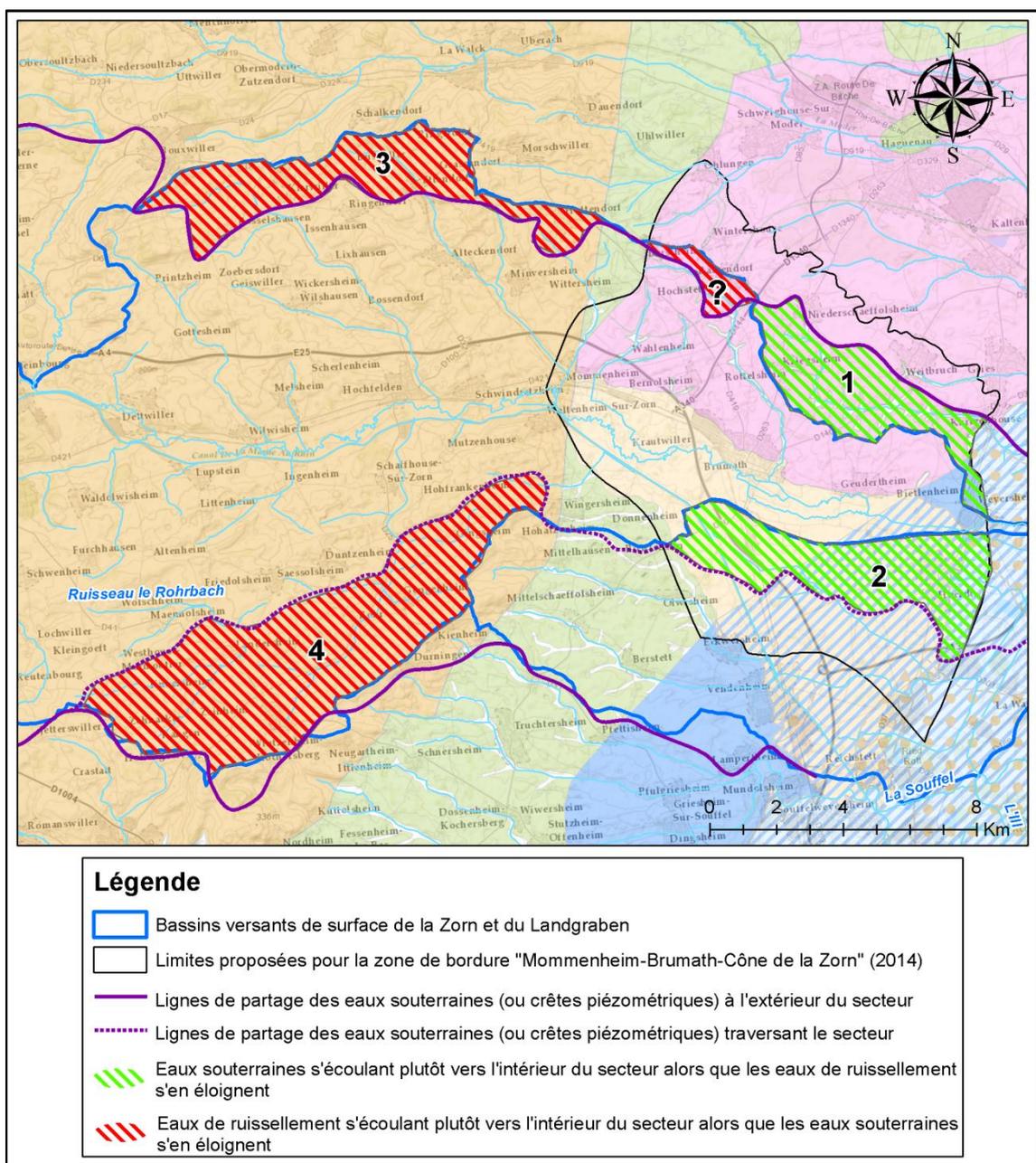


Illustration 41 : Comparaison des bassins versants souterrains et de surface – secteur de Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn

Parmi les secteurs remarquables, un premier hachuré en vert (n°1), au niveau des collines de Brumath, se situe en dehors de la limite du bassin versant de surface de la Zorn. En effet, à cet endroit, les eaux de ruissellement s'écoulent avec une direction Ouest-Est, à l'intérieur du petit bassin versant du ruisseau Hellergraben qui va ensuite se jeter dans la Moder, 6km plus loin. Cependant, les travaux de délimitation des bassins versants souterrains montrent que les eaux qui s'y infiltrent, s'écouleraient plutôt en direction du cône de déjection de la Zorn.

Une situation comparable s'observe, cette fois à l'intérieur même du cône de déjection (n°2). Les eaux qui ruissellent à cet endroit auront tendance à rejoindre préférentiellement le ruisseau du Landgraben alors que les eaux infiltrées, probablement influencées par les rabattements induits, au Nord, par les champs captant de Brumath et de Bietlenheim, s'écouleraient plutôt en direction de la Zorn.

Les secteurs 3 et 4 sont quant à eux situés à l'intérieur du bassin versant de surface de la Zorn et, de ce fait, les eaux de ruissellement s'écoulent en direction du cours d'eau. A l'inverse, il semblerait que les eaux qui s'infiltrent dans ces terrains ne participent pas à l'alimentation de la nappe alluviale de la Zorn, ou de manière très indirecte pour le cas du secteur n°4, pour lequel les eaux souterraines rejoindraient le cône de déjection de la Zorn, à l'intérieur du bassin versant du ruisseau Landgraben. Comme pour le Graben de Pfulgiesheim (cf. 3.3.3), cette dernière hypothèse reste néanmoins à vérifier car la quantité d'ouvrages documentés dans le secteur 4 reste très faible et les nappes qui y sont captées sont très probablement d'extensions limitées.

4.3.5. Relations nappe-rivière et inter-nappes

En amont de la faille rhénane et donc du cône de déjection de la Zorn, le cours d'eau draine la nappe superficielle. En aval de la faille, la Zorn joue plutôt un rôle d'alimentation de la nappe superficielle même si ces échanges restent limités en dehors des périodes de crue (d'octobre à mars). Ceci est montré par l'illustration 42 ci-dessous présentant des débits de crue de la Zorn, mesurés au niveau de la station d'Hœrdt, qui sont bien inférieurs à ceux mesurés plus en amont, au débouché de la Zorn, à Waltenheim-sur-Zorn, et ce malgré la confluence de plusieurs ruisseaux entre les deux stations. Ceci constitue un argument en faveur d'une alimentation de la nappe par la Zorn quand celle-ci présente de forts débits.

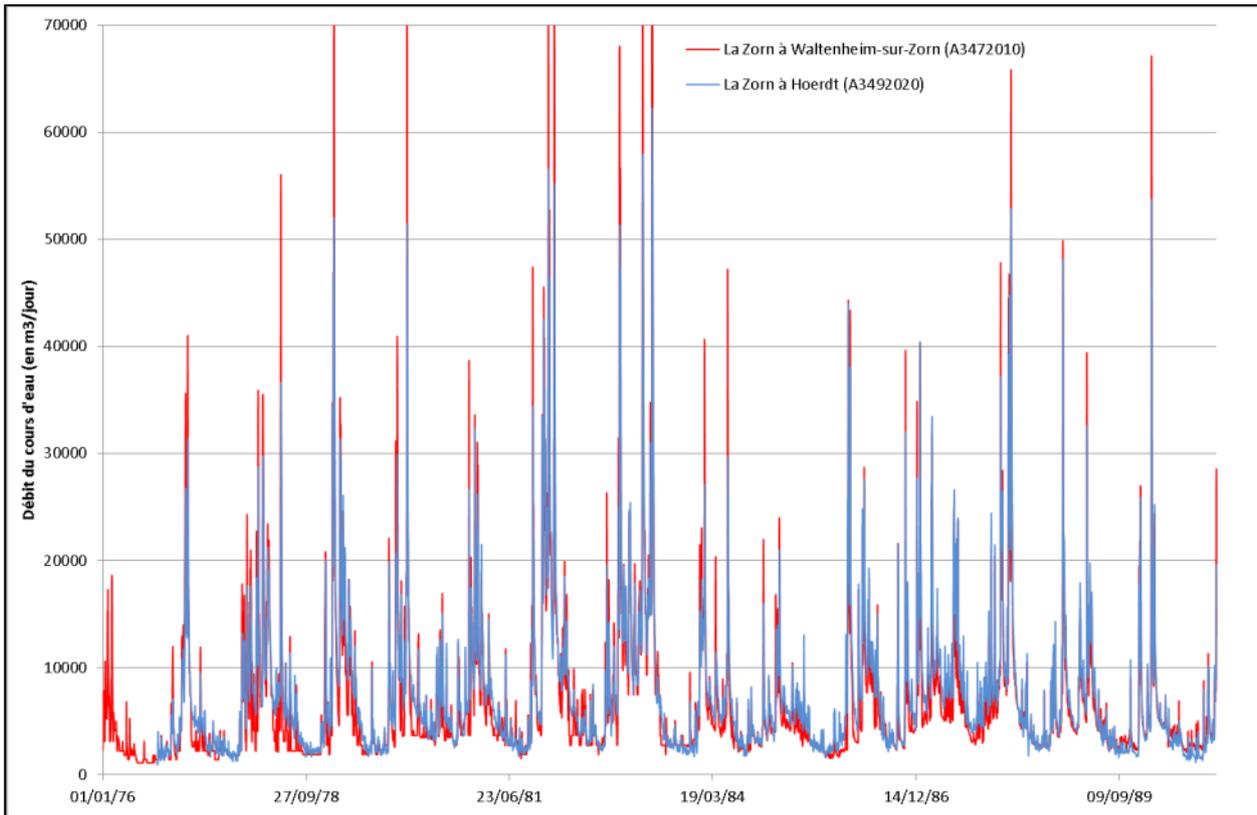


Illustration 42 : Comparaison des débits journaliers de la Zorn mesurés au niveau des stations de Waltenheim-sur-Zorn (amont) et d'Hœrdt (aval)

Par ailleurs, les travaux de Brugeron *et al.* (2012) sur la caractérisation des échanges nappes/rivière sur la base des piézomètres ADES ont montré que, pour les ouvrages 02343X0061/323B à Geudertheim et 02343X0015/318E à Hœrdt, la nappe superficielle captée semble drainer la Zorn. Ces deux puits sont très peu profonds (respectivement 5,4 et 3,88m) et le premier cité est localisé à environ 75m de la Zorn, captant ainsi une frange de la nappe très étroitement liée au cours d'eau. L'analyse des signaux piézométriques et hydrologiques, réalisé dans le chapitre 4.4.2, semble confirmer cette configuration.

En période d'étiage, l'illustration 42 montre des débits mesurés en aval (station d'Hœrdt) diminuant de manière beaucoup plus progressive que ceux enregistrés à Waltenheim-sur-Zorn. Une hypothèse envisageable pourrait être qu'une inversion saisonnière du sens des échanges se produise, avec par conséquent un maintien du niveau du cours d'eau en période d'étiage, par le biais d'apports d'eau provenant de la nappe des alluvions de la Zorn. Pour confirmer cela, il faudrait réaliser un bilan hydrique complet sur ce secteur d'étude, en considérant notamment les pluies et les prélèvements (surface et souterrain) qui y sont réalisés.

Enfin, concernant les liens possibles avec la nappe des sables du Pliocène, il semble que celle-ci soit légèrement en charge par rapport à la nappe superficielle contenue dans les alluvions de la Zorn (APRONA, 2013). Elle peut ainsi alimenter cette dernière dans les zones où les intercalaires argileux séparant ces deux aquifères sont très peu épais voire absents. Cependant, cette configuration particulière n'a pu être démontrée qu'au sein du champ captant de Mommenheim.

4.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR

De manière générale, les eaux souterraines sont captées sur l'ensemble du périmètre délimité par le secteur d'étude. Certaines zones sont particulièrement exploitées, à savoir :

- le long de la Zorn (à l'intérieur du champ d'inondation) : la densité d'ouvrages est très importante et comprend notamment les champs captant destinés à l'AEP de Mommenheim, Brumath et Bietlenheim-Geuderthaim ;
- en partie aval des cailloutis du cône de déjection : la zone délimitée par Brumath, Geuderthaim et le Sud de Hœrdt comporte plus de 50 puits profonds en moyenne de 10 à 15m (suffisants pour capter la nappe peu profonde à cet endroit) mais qui sont souvent peu documentés.

A contrario, la densité d'ouvrages au sein des collines de Brumath est nettement plus faible. De même les zones boisées en partie centrale du cône de déjection ne comprennent pratiquement aucun puits.

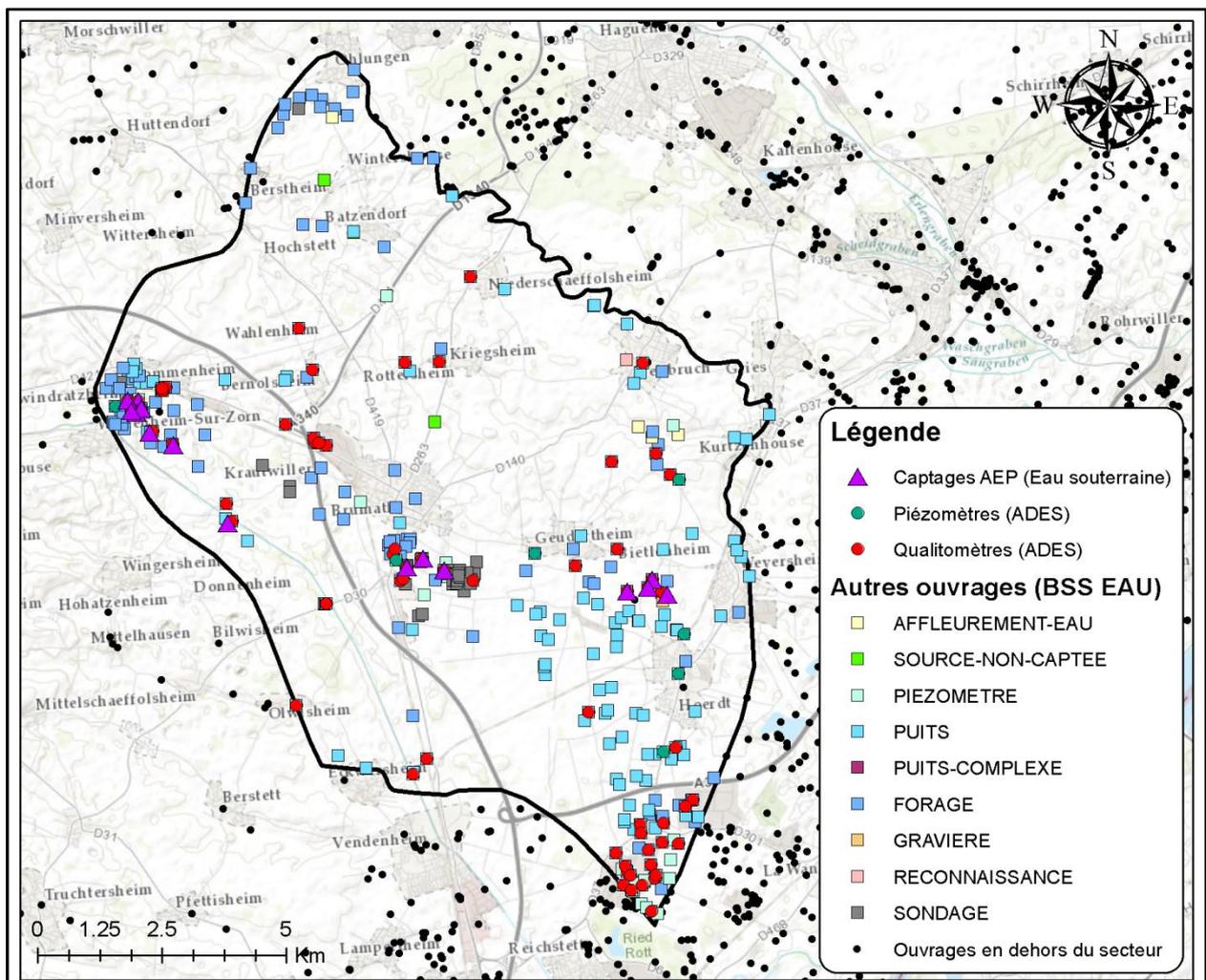


Illustration 43 : Localisation des captages AEP, qualitomètres ADES, piézomètres ADES et des autres points d'eau associés à la BSS EAU – secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »

4.4.1. Captages AEP

Trois groupements de forages destinés à l'AEP sont répertoriés dans le Référentiel national des captages AEP qui sont situés dans la vallée de la Zorn. Aucun ouvrage destiné à l'AEP n'est répertorié au droit des collines de Brumath.

Le champ captant de Mommenheim, situé dans la partie amont du cône de déjection de la Zorn, se caractérise par une grande complexité à l'échelle de quelques kilomètres carrés. Il se compose de sept ouvrages qui sollicitent différemment la ressource : selon les ouvrages, c'est soit l'aquifère des alluvions de la Zorn (02341X0023/F3, 02341X0024/F4, 02342X0193/F8, 02341X0053/F5B), soit l'aquifère des sables du Pliocène (02341X0046/F6, 02341X0143/F7), soit les deux qui sont captés (02341X0022/F1).

localisation	dénomination	type de ressource	indice national	traitement	capacité installée m ³ /h
Mommenheim	puits 1	forage	234-1-22	déferrisation démanganisation chloration	45
Mommenheim	puits 3	forage	234-1-23		45
Mommenheim	puits 4	forage	234-1-24		45
Mommenheim	puits 5bis	forage	234-1-46		180
Mommenheim	puits 6	forage	234-1-53		60
Mommenheim	puits 7	forage	234-1-143		125
Wingersheim	puits 8	forage	234-2-193		200
Weitbruch	station	forage 1	234-3-19	déferrisation /	25
		forage 2		chloration	60
capacité théorique de production					785 m³/h ou 18 840 m³/j
capacité réelle mesurée : Mommenheim : 650 m ³ /h + Weitbruch : 60 m ³ /h					710 m³/h ou 17 040 m³/j

Illustration 44 : Caractéristiques des forages AEP de Mommenheim et Weitbruch (SDEA, 2014)

Dans cette zone particulière, cette configuration se traduit donc par :

- un chimisme des eaux captées qui peut varier selon la profondeur échantillonnée à l'intérieur du même ouvrage dans le cas où celui-ci capte les deux aquifères précités (cas de l'ouvrage 02341X0143/F7, Urban *et al.*, 2013) ;
- des ouvrages distants de seulement quelques centaines de mètres les uns des autres, qui peuvent présenter des concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires très différentes ;
- une évolution des principales pollutions constatées pouvant être très contrastée d'un captage à l'autre.

Le forage le plus récent (02341X0053/F5B) atteint un débit de 180 m³/h en sollicitant toute la tranche alluvionnaire de la Zorn épaisse de 23 mètres.

Le champ captant de Brumath, situé en partie centrale du cône de déjection de la Zorn, compte trois forages (SDEA, 2014). En 2013, leur capacité totale de production est estimée à 228 m³/h. L'eau souterraine captée par ces ouvrages est de bonne qualité et ne fait l'objet que d'une simple chloration avant distribution (cf. Illustration 45).

localisation	dénomination	type de ressource	indice national	traitement	capacité installée m ³ /h
Brumath	puits 7	forage	234-2-13	néant	1 pompe de 93 m ³ /h + une pompe de réserve
Brumath	puits 4	forage	234-2-129	néant	2 pompes de 40 m ³ /h + 1 pompe de réserve
Brumath	puits 6	forage	234-2-187	dessablage	1 pompe de 55 m ³ /h + 2 pompes de réserve
capacité totale de production					228 m³/h ou 5 470 m³/j

Illustration 45 : Caractéristiques des forages AEP de Brumath (SDEA, 2014)

L'ouvrage indicé 02342X0013 correspond en réalité à un forage rebouché et remplacé depuis 2010 par le forage 02342X0263/P7 situé à 25m environ et profond de 20,5m. Tout comme les forages 02342X0129/P4 et 02342X0187/P6, il capte la nappe libre contenue dans les alluvions de la Zorn composées de sables fins jaune à rose, de graviers et de galets fins siliceux.

Le champ captant de Bietlenheim-Geudertheim, destiné à produire de l'eau pour la Communauté de Communes de la Basse-Zorn, est composé de 4 puits. En 2013, leur capacité totale de production a atteint 358 m³/h (cf. Illustration 46).

localisation	dénomination	type de ressource	indice national	traitement	capacité installée m ³ /h
Bietlenheim	puits 1	puits	02343X0020	--	33
Bietlenheim	puits 2	puits	02343X0022	--	100
Bietlenheim	puits 3	Puits	02343X0023	--	110*
Geudertheim	puits 4	puits	02343X0062	--	115
capacité totale de production actuelle					358 m³/h ou 8 592 m³/j

Illustration 46 : Caractéristiques des forages AEP de Bietlenheim-Geudertheim (SDEA, 2014)

Les crépines de ces 4 ouvrages, profonds de 35 à 41 m, sont positionnées au niveau des alluvions sablo-graveleuses grises d'origine rhénane, dont le toit à cet endroit se situe à environ 10m de profondeur, sous les alluvions holocènes et würmiennes de la Zorn. Le forage 02343X0023/F3 aurait a priori rencontré le toit très argileux des formations du Pliocène à 33m de profondeur.

4.4.2. Piézomètres (ADES et HORS ADES)

Dans le secteur d'étude, sept piézomètres sont identifiés comme appartenant au réseau de suivi piézométrique des eaux souterraines de la région Alsace géré par l'APRONA (cf. Illustration 47). Par ailleurs, 17 autres ouvrages sont référencés dans la BSS EAU comme ayant des mesures historiques de niveau piézométrique en nombre suffisamment important.

Il faut également noter la présence de trois stations de mesure hydrométriques au droit de la Zorn qui sont, d'amont en aval :

- la station A3472010 « La Zorn à Waltenheim-sur-Zorn », suivie depuis 1916 ;
- la station A3492010 « La Zorn à Hœrdt [1] », suivie entre 1965 et 1973 et
- la station A3492020 « La Zorn à Hœrdt [2] » suivie entre 1976 et 1990.

Peu d'ouvrages répertoriés au sein des collines de Brumath ont fait l'objet d'un suivi piézométrique. Les rares qu'ils l'ont fait se concentrent à l'Est de l'autoroute A340.

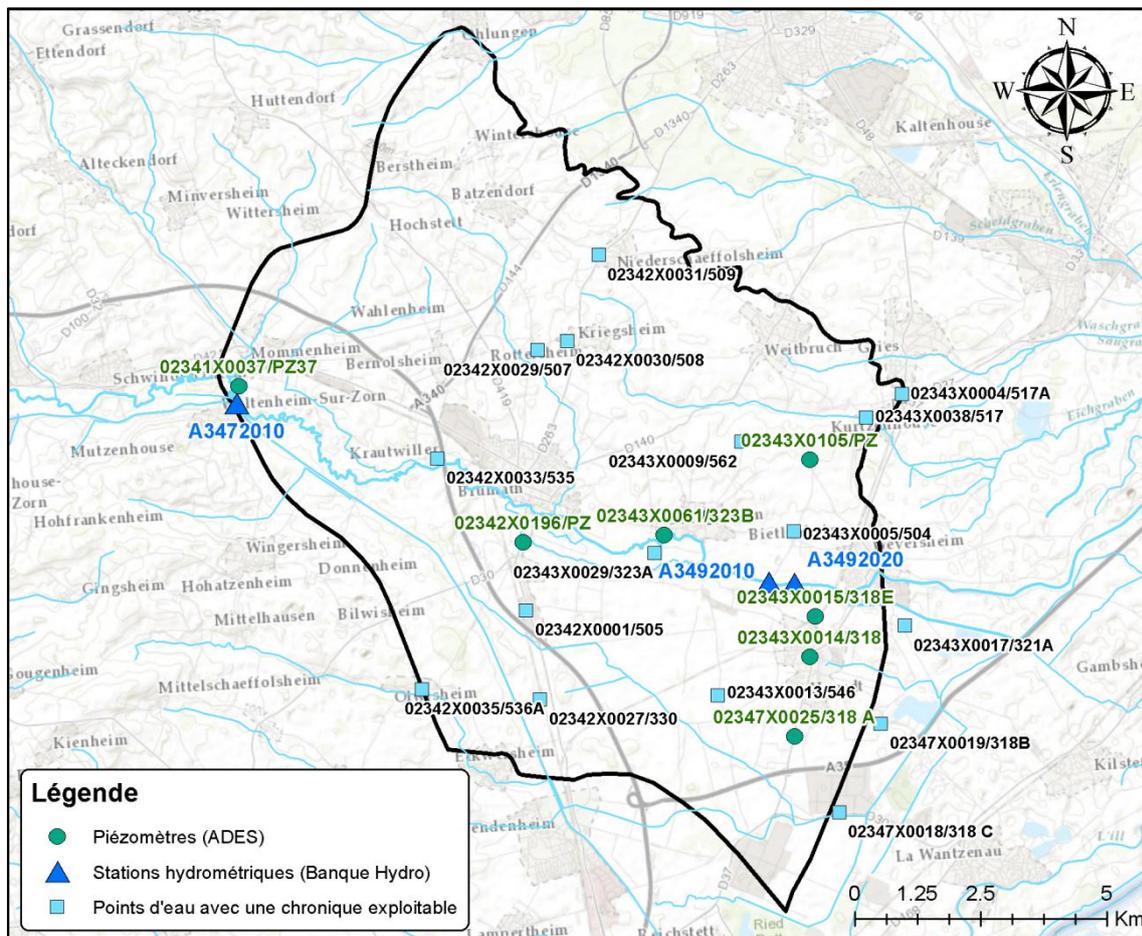


Illustration 47 : Localisation des piézomètres ADES et hors ADES et des stations de mesure hydrométrique référencées dans la Banque Hydro – secteur « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »

Collines de Brumath

L'illustration 48 ci-dessous présente les chroniques des quelques piézomètres localisés au sein des collines de Brumath, ayant fait l'objet d'un suivi continu sur plusieurs années. Un focus a été fait sur la période 1968-1976 durant laquelle une grande majorité de ces piézomètres a été suivie.

A l'exception du piézomètre 02343X0009/562, ces ouvrages ne dépassent que très rarement 15 m de profondeur.

Toutes ces chroniques sont caractéristiques de nappes très peu influencées par les variations des conditions climatiques en surface, comparables à des signaux de nappe captive. En effet, les signaux sont très inertiels, avec des battements particulièrement faibles. Logiquement, aucune corrélation n'est observée entre ces niveaux piézométriques et les débits de la Zorn enregistrés plus à l'Ouest. Aucune observation n'a été faite sur les ruisseaux au sein des collines.

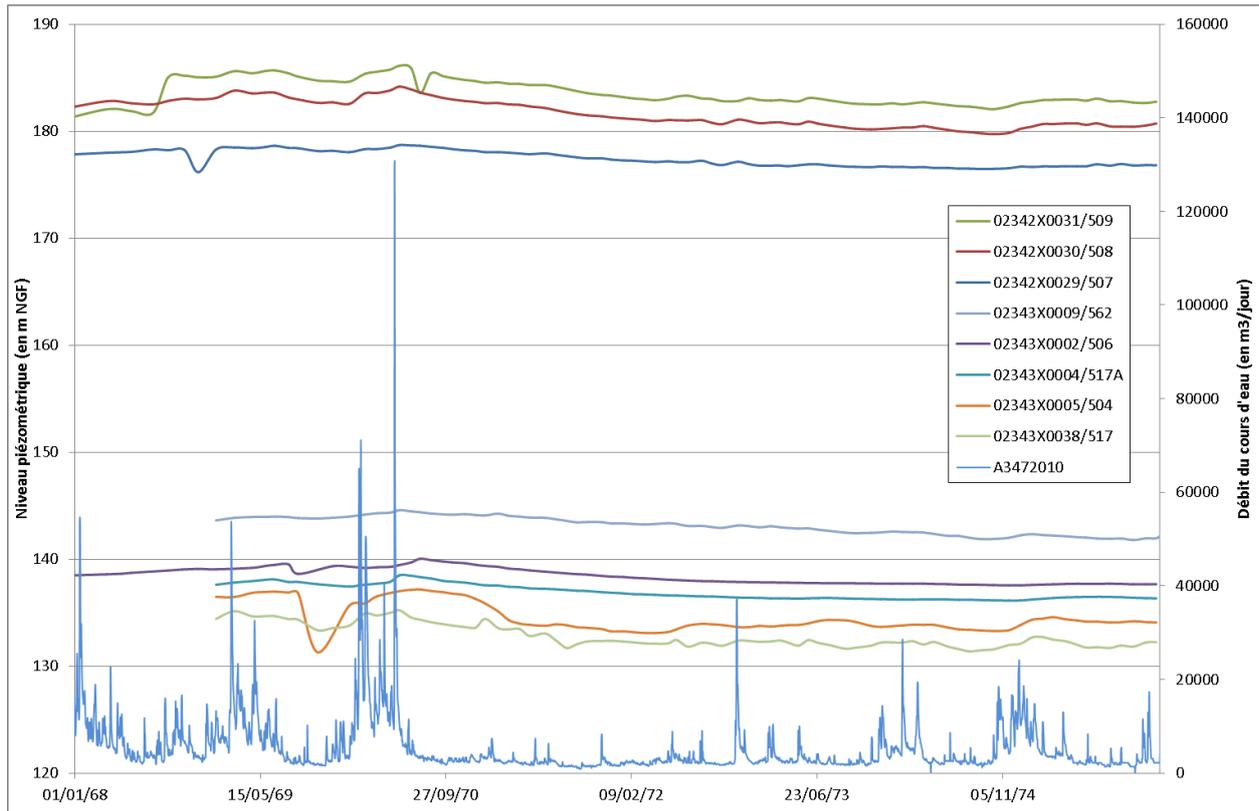


Illustration 48 : Chroniques piézométriques remarquables et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn en amont – collines de Brumath (période 1968 à 1976)

Les trois piézomètres situés respectivement à Niederschaeffolsheim (02342X0031/509), Kriegsheim (02342X0029/507) et Rottelsheim (02342X0030/508) captent tous les trois une nappe peu profonde (niveau d'eau entre 4 et 6m) présentant ce type de signal apparemment peu influencé par les saisons. D'après la BSS, ces trois ouvrages, peu profonds et assez peu décrits (aucune coupe géologique ou technique), capteraient une nappe contenue dans un niveau alluvionnaire sablo-graveleux. Ceci paraît surprenant dans la mesure où ils sont situés dans des zones censées être recouvertes par une épaisseur de loëss dépassant théoriquement 10m (cf. chapitre 4.2.2). Une première hypothèse consisterait à dire que ces loëss sont en réalité peu épais à cet endroit mais qu'ils mettent quand même en charge une nappe sous-jacente contenue dans des alluvions ou dans les sables pliocènes. Une seconde hypothèse, moins probable, serait que ces ouvrages captent en réalité une nappe perchée contenue dans la partie basale des loëss, elle-même mise en charge par la partie supérieure moins perméable.

Plus à l'Est, le point d'eau 02343X0009/562, d'une profondeur de 48,8m, présente également un signal particulièrement inertiel, peu influencé par les conditions climatiques extérieures. Contrairement aux précédents, sa configuration (crépines placées à 46m de profondeur) laisse suggérer qu'il capte très probablement la nappe captive contenue dans la formation des Sables du Pliocène, sous couverture loëssique. Des ouvrages d'eau situés à proximité ont d'ailleurs montré qu'en-dessous de 15 à 23 m de loëss, se trouvent ces niveaux sableux aquifères et épais, associés au Pliocène. Malheureusement, le seul autre piézomètre situé à proximité (02343X105/PZ) ne permet pas d'affiner cette hypothèse dans la mesure où il est pauvrement décrit et suivi seulement depuis 2013.

Du côté de Kurtzenhouse, l'ouvrage 02343X0038/517 (prof. : 8,4m) est quant à lui situé en bordure du cours d'eau l'Hellergraben. Son signal, bien que légèrement plus oscillant que les

autres (il subit probablement l'influence du ruisseau), présente toujours cette caractéristique inertielle. Aucune information complémentaire ne permet de préciser quel niveau aquifère est capté (lœss ou alluvions peu épais holocène associé au ruisseau ?). Au Nord de Kurtzenhouse, un autre point d'eau, le 02343X0004/517A, capte une nappe présentant une très forte inertie, encore une fois caractéristique d'une nappe captive. Le peu d'information disponible pour ce point ne permet pas de statuer sur la formation aquifère effectivement captée. De par sa position géographique et sa faible profondeur (10m), les deux hypothèses émises précédemment (nappe dans les alluvions holocènes ou les sables pliocènes mise en condition de captivité par la couverture lœssique sous-jacente ou alors nappe captive infra-lœssique) sont également valables pour ce point d'eau.

Enfin, les deux points d'eau 02343X0005/504 (prof : 13,25m) et 02343X0002/506 (prof. : 15,7m), les plus proches de la Zorn, semblent toujours capter une nappe très inertielle, même si le premier cité présente un signal plus « chahuté », difficile à interpréter sans de plus amples informations sur l'ouvrage. L'ouvrage 02343X0076/PZ1, de même profondeur, localisé à mi-distance de ces deux points d'eau mais légèrement plus en aval, a été décrit comme traversant uniquement les alluvions holocène limoneuses puis les alluvions grossières rissiennes à würmiennes de la Zorn. Cependant, cette configuration est difficile à étendre aux deux autres ouvrages. Il est plus envisageable qu'ils aient rencontré une fine épaisseur de lœss puis les sables du Pliocène, qui affleurent par ailleurs à proximité, du côté de Geuderthaim.

Le long de la Zorn

Tout comme pour les chroniques piézométriques des points d'eau des collines de Brumath, une large majorité des points d'eau situés le long de la Zorn, de Mommenheim à Hoerd, n'a fait l'objet d'un suivi que durant la période 1960 à 1976.

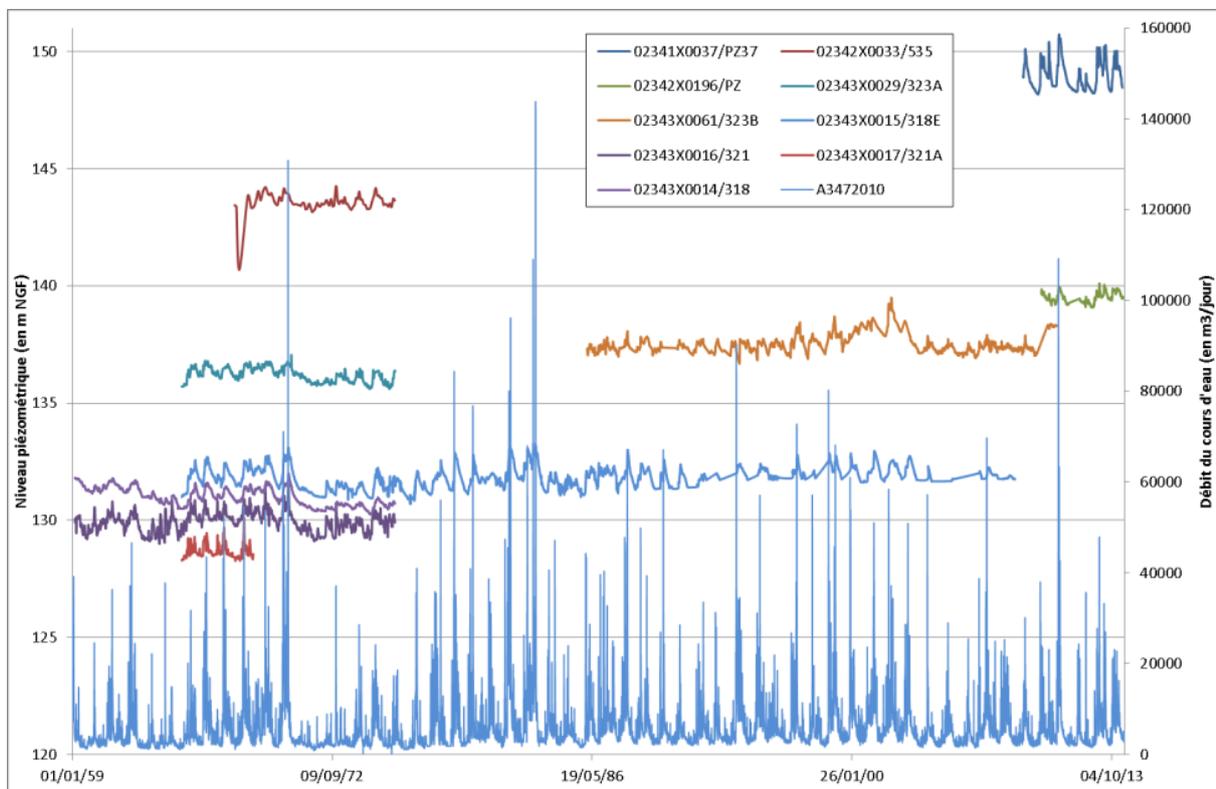


Illustration 49 : Chroniques piézométriques remarquables d'ouvrages le long de la Zorn et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn en amont

Les chroniques les plus longues sont celles des piézomètres 02343X0015/318E à Hœrdt (de 1968 à 2008) et 02343X0061/323B à Geudertheim (de 1986 à 2010), tous deux appartenant au réseau de suivi piézométrique des eaux souterraines de la nappe d'Alsace, géré par l'APRONA. Les trois autres ouvrages, situés le long de la Zorn et qui appartiennent également à ce réseau de surveillance, possèdent des chroniques de longueur bien inférieure :

- 02341X0037/PZ37, profond de 6,6m, situé à Mommenheim à proximité du champ captant (cf. chapitre 4.4.1) et suivi depuis seulement février 2009 ;
- 02342X0196/PZ, profond de 11,7m, situé au Sud de Brumath, et suivi depuis seulement janvier 2010 ;
- 02343X0014/318, profond de 12m, situé à Hœrdt et suivi entre 1959 et 1975 puis de nouveau à partir d'août 2008, en remplacement de l'ouvrage 02343X0015/318E (ce second suivi n'est pas représenté sur l'illustration 49).

Dans le secteur amont, de Mommenheim à Geudertheim, les ouvrages 02341X0037/PZ37 et 02342X0196/PZ, présentent tous deux des signaux ayant une bonne corrélation avec les débits enregistrés au niveau de la station hydrométrique de la Zorn (zones en bleu - cf. Illustration 50), sur la période 2009-2014, ce qui valide l'hypothèse d'une relation entre la nappe et la rivière.

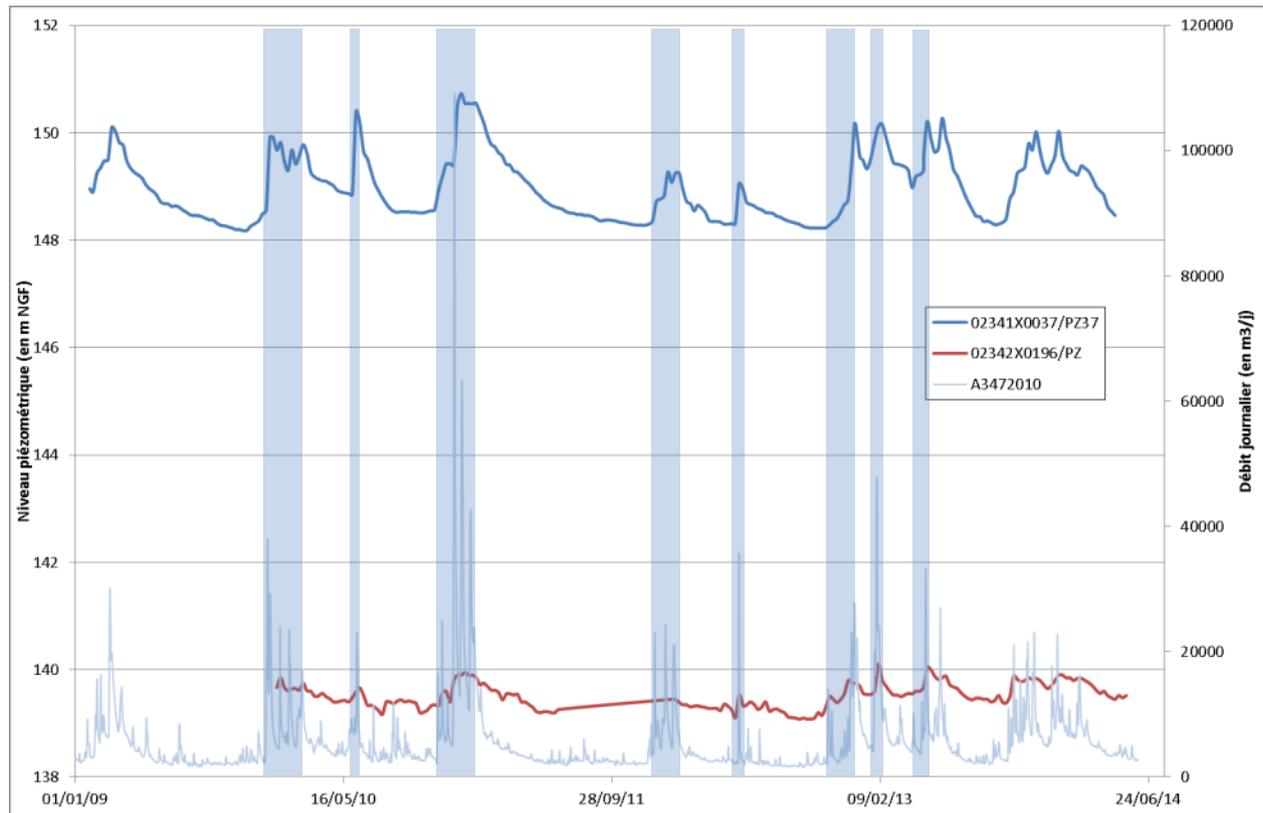


Illustration 50 : Chroniques piézométriques remarquables entre Mommenheim et Geudertheim et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn dans la station hydrométrique de Waltenheim-sur-Zorn

En examinant les chroniques des points d'eau situés plus en aval, entre Geudertheim et Hœrdt, et durant la période 1959 à 1976, cette forte connexion entre la Zorn et la nappe captée généralement à de très faible profondeur est encore une fois décelée (cf. Illustration 51). A l'exception de 02343X0014/318, aucun des ouvrages ne dépasse 6m de profondeur.

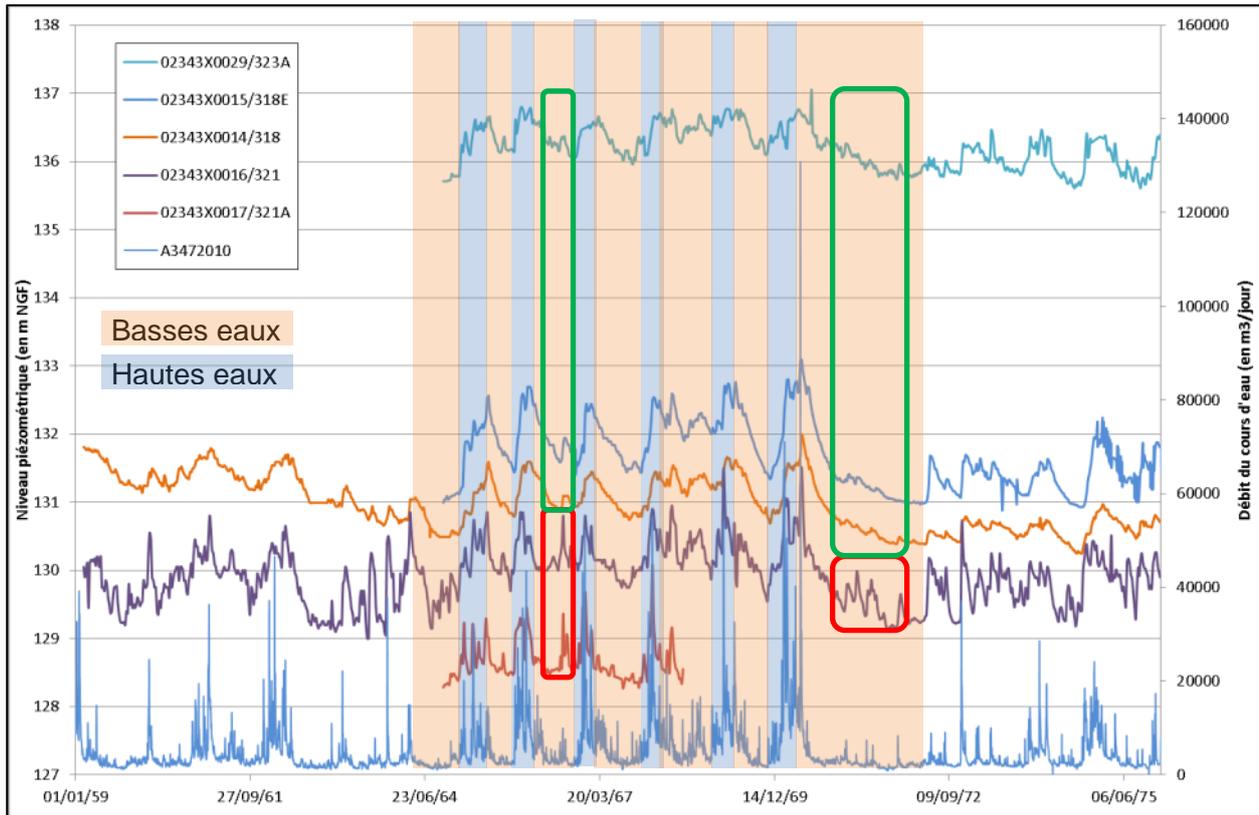


Illustration 51 : Chroniques piézométriques remarquables entre Mommenheim et Hœrdt et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn dans la station hydrométrique de Waltenheim-sur-Zorn

Les deux ouvrages les plus en aval (bordure Est de la zone de bordure) que sont 02343X0016/321 et 02343X0017/321A présentent des chroniques très similaires à celle des débits de la Zorn. La portion de nappe captée y est particulièrement réactive. Ceci est notamment montré en août 1966 ou avril à juillet 1971 (rectangles rouges sur l'illustration 51), périodes durant lesquelles la moindre petite augmentation du débit de la Zorn coïncide avec une augmentation du niveau de la nappe alors enregistré sur ces deux points d'eau.

A contrario, pour les périodes précitées, la nappe captée par les trois ouvrages situés plus à l'Ouest (à l'intérieur de la zone de bordure) ne présente pas totalement le même type de réponse. Malgré une réactivité toujours importante aux variations saisonnières de débit de la Zorn, il semble que les signaux enregistrés soient légèrement plus « tamponnés » (rectangles verts sur l'illustration 51). De même, en période d'étiage, les baisses du niveau de la nappe captée par ces trois ouvrages sont nettement plus lentes que celles enregistrées par les ouvrages en aval (signe d'apports complémentaires durant cette période ?).

Cette distinction dans les variations de la nappe captée constitue un argument supplémentaire pour le passage de la limite Est de la zone de bordure entre ces deux groupes de forages. Les deux ouvrages en aval captent une portion de nappe particulièrement réactive aux sollicitations extérieures, alors que les trois ouvrages situés à l'intérieur de la zone, pourtant de profondeurs similaires, présentent des réponses légèrement plus atténuées. Il serait intéressant de réaliser un bilan hydrique plus fin sur ce secteur, afin de mieux comprendre cette dualité. A noter également l'apparition des alluvions rhénanes sous les alluvions vosgiennes dans la zone particulière en aval.

Cône de déjection de la Zorn

Au sein du cône de déjection de la Zorn, 5 ouvrages présentent des chroniques piézométriques exploitables (cf. Illustration 52), toujours dans cette période 1960-1976. Parmi eux, l'ouvrage 02343X0014/318, déjà présenté dans le paragraphe précédent, est réutilisé ici car il est finalement positionné dans une zone intermédiaire, en extrémité Nord du cône de déjection *sensu stricto*.

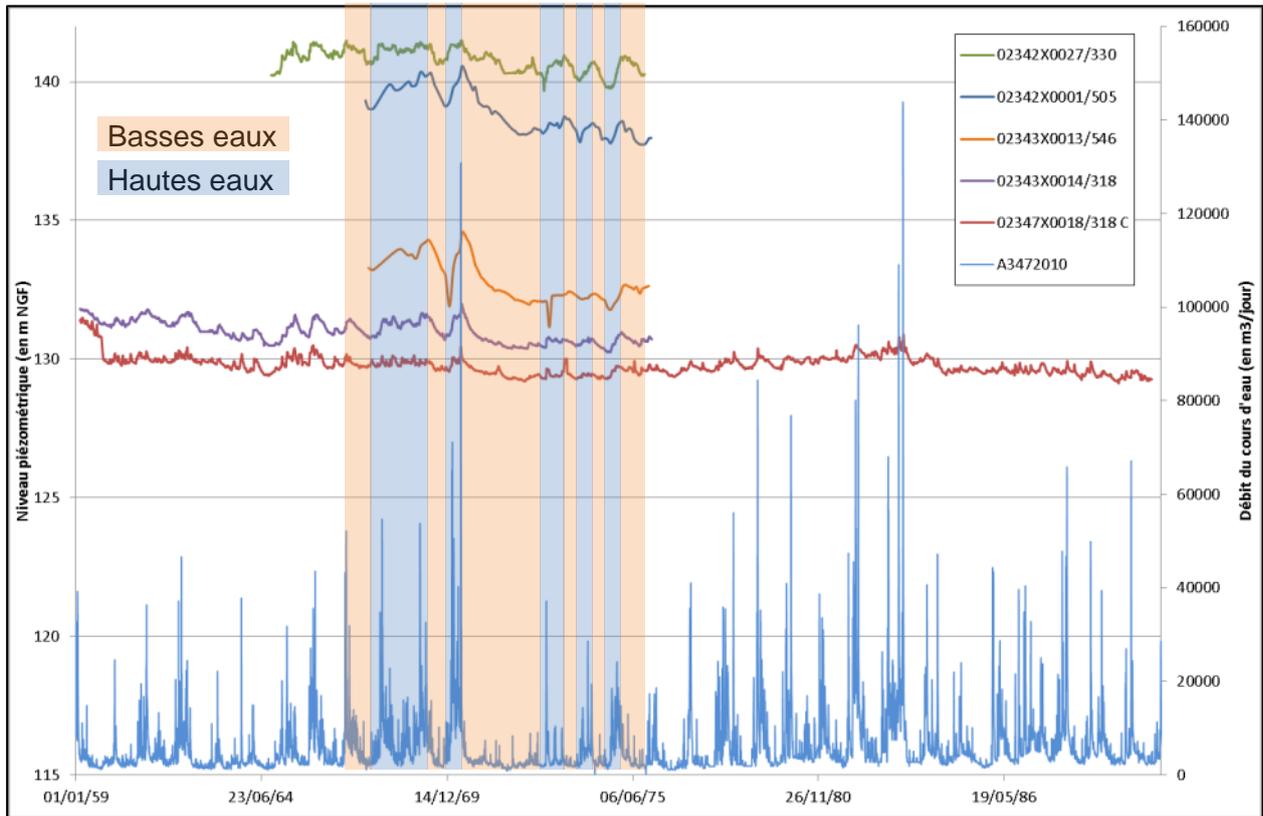


Illustration 52 : Chroniques piézométriques remarquables au sein du cône de déjection et comparaison avec les débits enregistrés sur la Zorn dans la station hydrométrique de Waltenheim-sur-Zorn

Là encore, les différentes portions de nappe captées par ces ouvrages réagissent de manière quasi simultanée aux variations de débits de la Zorn. Cependant, l'amplitude des niveaux de nappe s'avèrent différents selon le positionnement du point d'eau.

En effet, les deux points d'eau présentant les battements les plus importants (02342X0001/505, profond de 7,9m et 02343X0013/546, profond de 6,68m) sont situés au cœur du cône de déjection, soit en position centrale de la paléovallée supposée (cf. chapitre 4.2.1), zone supposée de plus forte épaisseur d'alluvions vosgiennes.

Plus à l'Est, les ouvrages 02343X0014/318 et 02347X0018/318 C présentent des signaux très comparables, avec une fréquence de fluctuation paraissant plus importante néanmoins (signal plus brouillé) pour le second nommé, en aval de la limite Est de la zone et à l'image de ce qui a été constaté dans le chapitre précédent, pour les ouvrages 02343X0016/321 et 02343X0017/321A.

4.4.3. Qualitomètres

Dans la zone de bordure, 74 points d'eau sont recensés comme qualitomètres dans la banque ADES (cf. Illustration 53). Parmi ces points d'eau :

- 36 d'entre eux sont associés au réseau pour les « inventaires de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan en plaine d'Alsace » (réseau n°0200000015) ;
- 30 appartiennent au « réseau qualitatif des eaux souterraines pour le suivi des installations classées pour la région Alsace (ICSP) » (réseau n°0200000036) ;
- 24 appartiennent au « réseau national de suivi au titre du contrôle sanitaire sur les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable » (réseau n°0000000028) ;
- 11 appartiennent au « Réseau national de suivi de la directive Nitrates pour les eaux souterraines » (réseau n°0000000078) ;
- 8 sont associés au « réseau des captages prioritaires du bassin Rhin-Meuse (SDAGE) » (réseau n° 0200000087) ;
- 6 sont associés au « réseau de bassin des captages Grenelle du bassin Rhin-Meuse » (réseau n°0200000086).

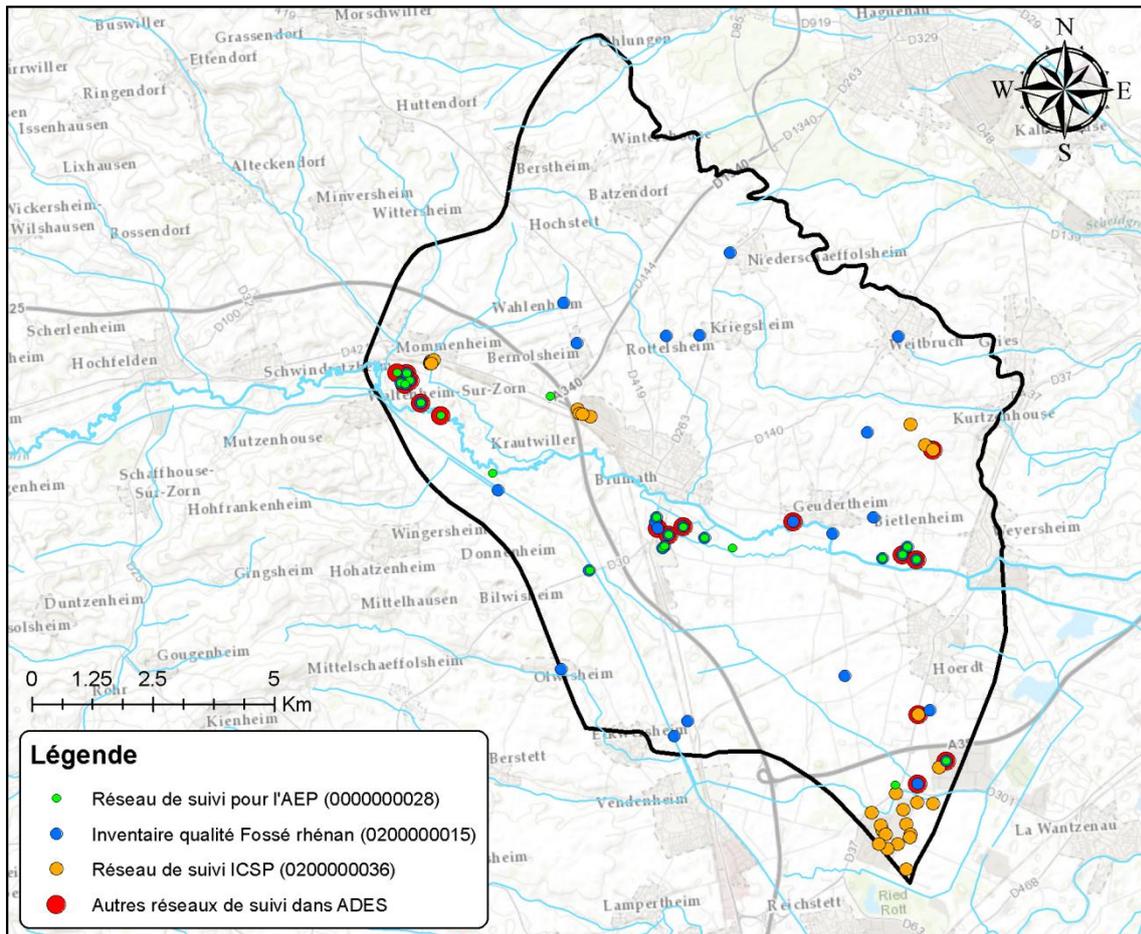


Illustration 53 : Localisation des qualitomètres ADES dans la zone de bordure « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »

L'essentiel de ces qualitomètres est situé le long de la Zorn ainsi qu'en limite Sud-Est de la zone de bordure (essentiellement des points associés au réseau ICSP) qui correspond à un lieu d'activité industrielle intense, avec notamment la présence de trois établissements Seveso seuil

haut : Petroplus Raffinage Reichstett (PRR), le centre emplisseur Butagaz et l'entreprise Lanxess Elastomers.

Champ captant de Mommenheim

Certains ouvrages du **champ captant de Mommenheim**, présentent des concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires (atrazine et métabolites) élevées et en augmentation constante depuis les années 1980, et ce malgré les nombreuses mesures et actions mises en place. Par conséquent, ce champ captant a déjà fait l'objet d'études locales détaillées (BURGEAP, 1999, APRONA, 2013, Urban *et al.*, 2013). Les conclusions de ces études sont les suivantes :

- Dans l'ensemble la pollution phytosanitaire est principalement liée à l'atrazine (dés herbant interdit en France depuis 2003) et son principal métabolite, la déséthylatrazine, même si l'interdiction de cette substance en 2003 s'est traduite par une tendance à la baisse des concentrations mesurées. Les valeurs rencontrées dans certains ouvrages restent néanmoins toujours au-dessus des normes de potabilité pour ces deux substances.
- Par ailleurs, une corrélation marquante entre les nitrates et les ions chlorures, pour ces ouvrages comme pour ceux des environs, témoigne de l'impact de produits fertilisants spécifiques (Urban *et al.* 2013).
- Les puits les plus proches de Mommenheim et les plus au Nord sont les plus touchés par la pollution nitraté. Ils prélèvent principalement la nappe superficielle des alluvions de la Zorn et sont localisés dans des zones où les sols sont particulièrement sujets au lessivage des nitrates.
- Plusieurs éléments semblent témoigner en faveur d'une pollution nitraté provenant du Nord-Nord-Est du champ captant (à savoir les collines de Brumath) :
 - l'alimentation des forages « à problème » du champ captant se fait globalement par le Nord-Nord-Est (BURGEAP, 1999) ;
 - En amont du champ captant, des prélèvements réalisés dans les alluvions de la Zorn ont présenté des teneurs inférieures à 5mg/l alors que les teneurs enregistrés dans les captages étaient de l'ordre de 30mg/l en moyenne (Tridon, 2013).
 - L'analyse d'un puits captant l'aquifère des sables du Pliocène, situé en amont hydrogéologique du champ captant de Mommenheim, témoigne d'un apport polluant en nitrates significatif (environ 50 mg/L) et d'âge récent (Urban *et al.*, 2013).
 - Les ruisseaux dont la confluence avec la Zorn est située en amont immédiat du champ captant présentent des teneurs élevées en nitrates, en moyenne de 30 à 50 mg/l (Urban *et al.*, 2013).

Dans ce champ captant, la pollution la plus préoccupante est celle par les nitrates. Cependant, les évolutions restent imprévisibles pour la plupart des ouvrages du champ captant malgré les tentatives de simulation (utilisation du modèle hydrodynamique MoNit et du modèle de transfert MACRO, Urban *et al.*, 2013).

Collines de Brumath

Dans l'ensemble, sur ce secteur, la pollution phytosanitaire est également principalement liée à l'atrazine et son principal métabolite, la déséthylatrazine, même si, là encore, l'interdiction de cette substance en 2003 s'est traduite par une tendance à la baisse des concentrations mesurées (sauf sur l'ouvrage 02342X0030/508 situé à Kriegsheim). Les valeurs rencontrées dans certains ouvrages restent néanmoins toujours au-dessus des normes de potabilité pour ces deux substances.

Comme autre substance remarquable retrouvée, on citera :

- la simazine (désherbant interdit depuis 2003 de la même famille que l'atrazine), avec des teneurs assez nettement en baisse depuis 1997 et qui sont désormais en-dessous du seuil DCE de 0,1µg/l ;
- le métolachlore (désherbant interdit depuis 2003), détecté à hauteur de 0,25 µg/l en 2009 sur l'ouvrage 02342X0188/P situé à Rottelsheim et donc à surveiller lors des prochains inventaires.

De même, l'inventaire transfrontalier 2009 a montré que l'ouvrage 02343X0084/P situé à Weitbruch, captait une nappe fortement dégradée qualitativement avec, en plus de l'atrazine et de ses métabolites, environ 10 autres substances actives encore retrouvées en 2009 (mais globalement en baisse par rapport aux inventaires précédents).

Pratiquement tous les ouvrages des collines de Brumath, qui prélèvent des portions de nappe proches de la surface, sont également touchés par la pollution nitratée, avec des valeurs historiquement très élevées.

A titre d'exemple, en 1991, les ouvrages 02342X0030/508, 02342X0031/509 et 02342X0188/P présentaient des valeurs respectives de nitrates dans les eaux souterraines de 131, 174 et 271 mg/l. Ces ouvrages, comme les autres au sein des collines, ont vu leurs teneurs en nitrates baisser assez sensiblement depuis. Lors de l'inventaire transfrontalier 2009, les teneurs mesurées sur ces trois ouvrages ont été respectivement de 64, 121 et 130 mg/l. Certes, ces valeurs restent toujours au-dessus de la norme de potabilité de 50 mg/l, mais la tendance est globalement à la baisse depuis 12 ans.

Cône de déjection de la Zorn

En amont du champ captant de Bietlenheim-Geudertheim, la problématique majeure est encore l'atrazine et ses métabolites mais contrairement aux secteurs précédents, la tendance ne semble pas vraiment à la baisse, notamment pour les ouvrages 02343X0061/323B, 02343X0077/PZ2 et 02343X0076/PZ1 situés au Sud de Geudertheim. La simazine apparaît même en 2009 pour les deux derniers cités, à des teneurs certes encore faibles. La problématique nitrates est également présente, surtout pour le premier cité (autour de 90 mg/l en 2003 et 2009).

Les 4 ouvrages du champ captant de Bietlenheim-Geudertheim plus en aval ne font quant à eux l'objet d'aucun traitement avant distribution (SDEA, 2014).

Pour le reste, peu d'ouvrages ont fait l'objet d'un suivi qualitatif sur ce secteur particulier et quand ils l'ont été, les résultats sont globalement moins problématiques que ceux précédemment cités, à l'exception peut-être des ouvrages situés en limite Sud-Ouest, en

bordure de la terrasse mindelienne de la Zorn, pour lesquels les teneurs en nitrates et autres produits phytosanitaires sont élevés voire dépassent les normes de potabilité.

4.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE

4.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2)

Les informations contenues dans la Base de données d'Occupation du Sol v2 confirment le fait que cette région a une vocation agricole très importante (cf. Illustration 54).

Les collines de Brumath est une région agricole dont le paysage a été façonné par une agriculture assez traditionnelle (ADEUS, 2013). Bénéficiant de conditions pédologiques favorables, les productions agricoles sont variées :

- des céréales : du blé et du maïs (pour ce dernier, surtout en amont de Geudertheim/Weyersheim, d'après l'atlas 2014 de la DRAAF),
- des cultures fourragères,
- des vergers intensifs : essentiellement pommiers et cerisiers (cercle rouge sur l'illustration 54),
- les houblonnières (cercle orange sur l'illustration 54),
- quelques vergers traditionnels des coteaux des vallées intérieures et en bordure de la Zorn (cercle violet sur l'illustration 54) et
- certaines cultures maraîchères spécifiques telles les asperges (Weyersheim et Geudertheim), les pommes de terre et les oignons.

Pour le cône de déjection de la Zorn, sa majeure partie est le domaine de la forêt (feuillus initialement puis plantations de pins) avec la forêt communale de Brumath, le bois communal de Geudertheim, l'Herrenwald et la forêt domaniale de Grittwald. Pour le reste, la majeure partie de la surface destinée à l'agriculture est consacrée à la production céréalière (blé, maïs). Cependant, d'autres pratiques agricoles sont également menées, notamment la culture maraîchère et potagère (asperges, pommes de terre, ail, oignons) ainsi que des vergers traditionnels. Enfin, l'élevage y est peu répandu, hormis quelques élevages de volailles dans certaines communes.

Aux environs de Hœrdt (cercle noir sur l'illustration 54) et au Sud de Geudertheim s'est développé une quasi-monoculture spéculative de l'asperge ; ce légume trouve dans les sables du cône de la Zorn des sols idéaux, légers et siliceux.

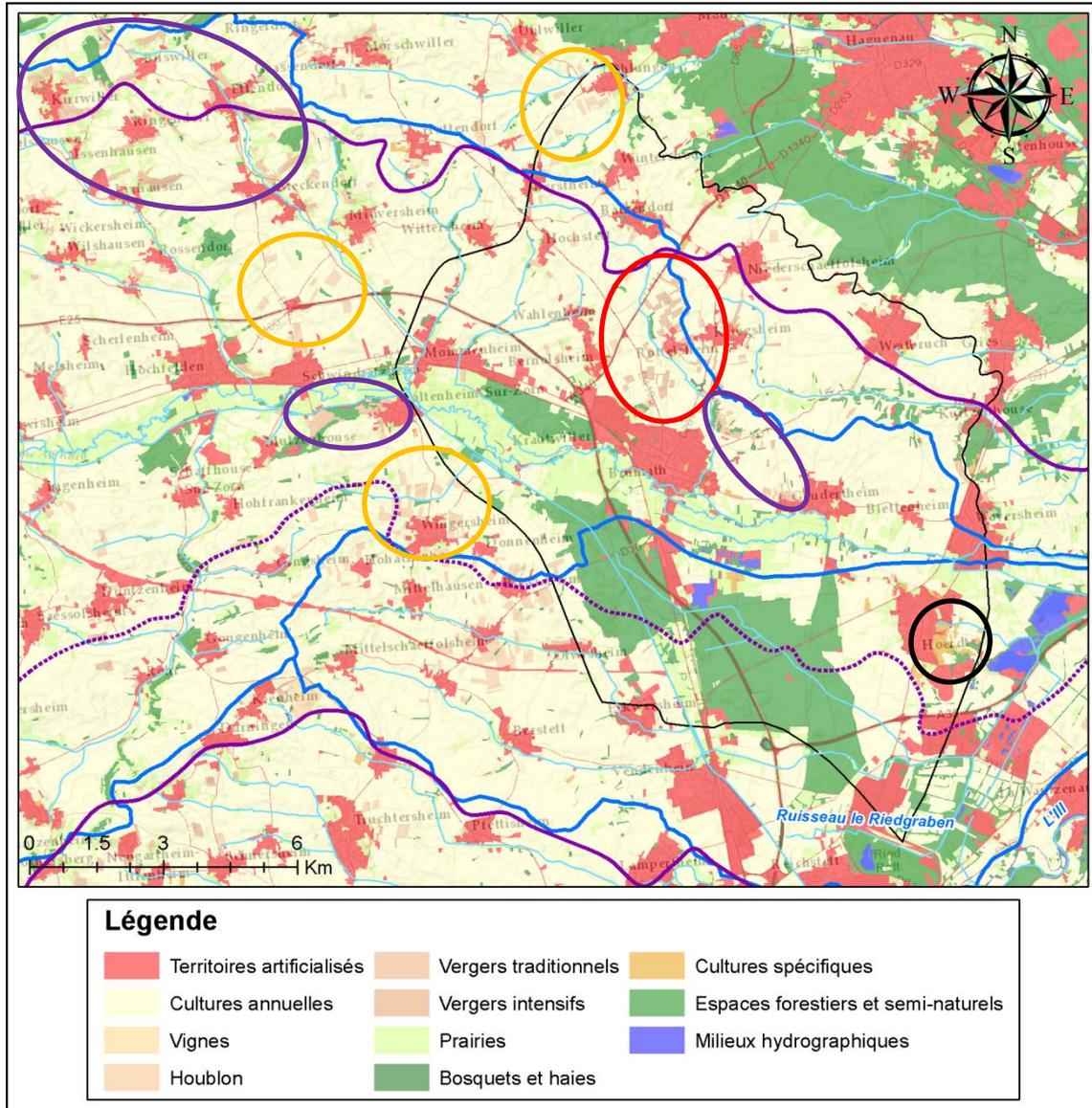


Illustration 54 : Occupation du sol sur la zone « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » et en amont (source : Bd OCS CIGAL v2, années 2011-2012)

4.5.2. Comparaison épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS) et IDPR

L'illustration 55 ci-dessous oppose les résultats du calcul de l'IDPR, permettant de différencier qualitativement les terrains favorisant le ruissellement de ceux favorisant l'infiltration, avec l'épaisseur moyenne de la zone non saturée, donnée déjà utilisée pour la détermination des bassins versants souterrains moyens ainsi que des drains souterrains principaux.

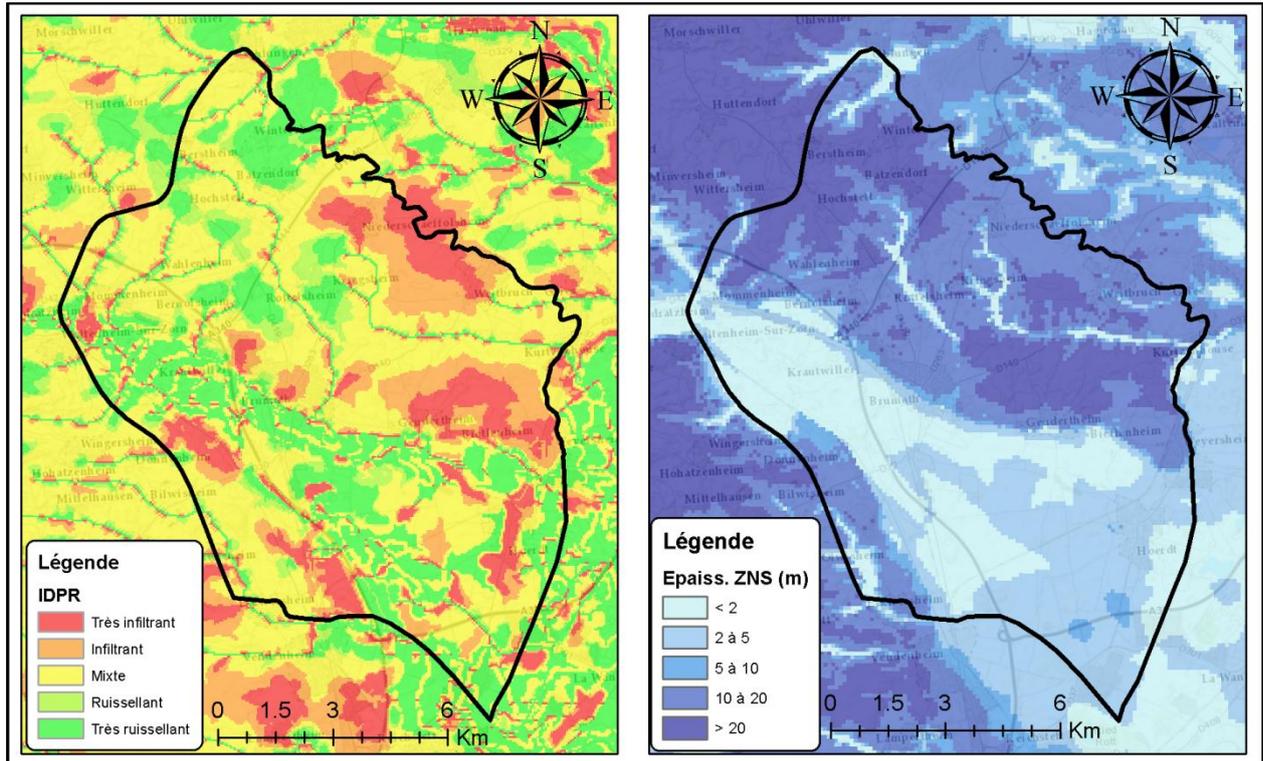


Illustration 55 : Comparaison IDPR et épaisseur de Zone Non Saturée – zone de « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn »

Concernant les critères « épaisseur de ZNS » et « IDPR », la zone de bordure peut être scindée en trois grands ensembles qui correspondent aux collines de Brumath, au cône de la Zorn et à la terrasse mindelienne de la Zorn.

Collines de Brumath

Les collines de Brumath se caractérisent par une épaisseur de ZNS dépassant en moyenne les 10m. La nappe n'est sub-affleurante qu'au droit des ruisseaux Hellergraben et Saltenbach qui s'y écoulent. Il faut également noter qu'une bonne part des collines présente même une épaisseur de ZNS supérieure à 20m. A première vue, la configuration hydrogéologique spécifique de ce secteur, avec cette épaisse ZNS au sein des dépôts de loess recouvrant l'aquifère des sables du Pliocène, favoriserait le retardement du transfert d'éventuels polluants vers ce dernier. Ces résultats sont cependant à relativiser dans la mesure où ils ne prennent pas bien en compte les petites nappes perchées dans les loess, présentes localement, a priori problématique du point de vue qualité, et supposément captées par certains points d'eau décrits dans le chapitre 4.4.2.

Le calcul IDPR met en évidence des secteurs très propices au ruissellement pour la moitié Ouest des collines alors que leur moitié Est semble plutôt composée de terrains plus infiltrants. Ces derniers coïncident d'ailleurs assez bien avec les zones à forte épaisseur de ZNS précédemment décrites. Comme pour le graben de Pfulgiesheim et malgré le recouvrement **a priori** complet des collines par des dépôts loessiques assez épais, le calcul IDPR semble montrer que ces terrains ne sont finalement pas réellement homogènes avec des zones apparemment plus vulnérables localisées au Nord de Rottelsheim, entre Niederschaefollsheim et Weitbruch, et entre Geudertheim et le ruisseau Hellergraben.

Le cône de la Zorn

Le cône de la Zorn se caractérise par une épaisseur de ZNS extrêmement faible, avec une nappe pouvant être considérée comme sub-affleurante sur au moins les 2/3 du secteur. Pour le reste, la profondeur de la nappe ne dépasse quasiment jamais les 5 m.

A contrario, le calcul de l'IDPR révèle un secteur beaucoup plus contrasté avec néanmoins une majorité de terrain plutôt favorable au ruissellement. Cependant, quelques zones plutôt infiltrantes sont mises en évidence, notamment à l'Ouest de Hœrdt et à l'Est d'Eckwersheim, en bordure de la terrasse mindelienne de la Zorn. Au regard de la proximité de la nappe vis-à-vis du sol, ces deux zones semblent constituer des zones à vulnérabilité élevée en cas de pollution.

La terrasse mindelienne de la Zorn

De manière similaire aux collines de Brumath, ce secteur est le lieu d'une épaisseur de ZNS a priori importante avec un caractère IDPR plutôt mixte à l'exception d'une zone particulière située au Nord-Est de Donnenheim qui s'avère être propice à l'infiltration. Il faut cependant nuancer les résultats de ces deux calculs sur ce secteur, dans la mesure où peu d'ouvrages y sont répertoriés, avec souvent un niveau d'information insuffisant.

4.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan – focus sur les nitrates (Région Alsace, 2012)

L'illustration 56 ci-dessous représente un zoom sur la zone « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » des résultats sur les nitrates de l'inventaire transfrontaliers 2009 de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan (Région Alsace, 2012). Cette carte montre encore une fois la dichotomie qui caractérise cette zone d'étude, entre les collines de Brumath et le cône de la Zorn.

Les collines de Brumath présentent des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines particulièrement élevées et dépassant même le seuil de potabilité de 50 mg/l. Les points d'eau de ce secteur qui ont été intégrés à la campagne de prélèvement pour cet inventaire (cf. Illustration 53 – points bleus) sont généralement peu profonds (moins de 10m) mais assez mal documentés. De plus amples informations sont nécessaires sur la formation aquifère réellement captée par ces ouvrages (nappe perchée au sein des loëss de couverture ? nappe des sables du Pliocène susceptible d'être peu profonde à certains endroits ?). Il est cependant constaté que ce « panache » de teneurs élevées en nitrates coïncide assez bien avec l'extension de la couverture loëssique des collines. L'influence de l'effet retardateur (et peut être même cumulatif) de ces loëss peu perméables dans le transfert des polluants vers les formations sous-jacentes pourrait jouer un rôle ; les teneurs en nitrates constatées seraient représentatives d'une situation agricoles antérieure de plusieurs dizaines d'années.

L'influence de certaines des activités agricoles menées à cet endroit (culture prépondérante du blé, vergers intensifs et traditionnels, houblonnières plus en amont) ainsi que l'évolution des pratiques historiques associés durant les époques passées, mériteraient d'être plus nettement évaluées à travers une étude locale plus approfondie. L'impact sur les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la monoculture spécifique et historique de l'asperge entre Geudertheim et Weyersheim et vers Hoerdtd, ne semble a priori pas avéré.

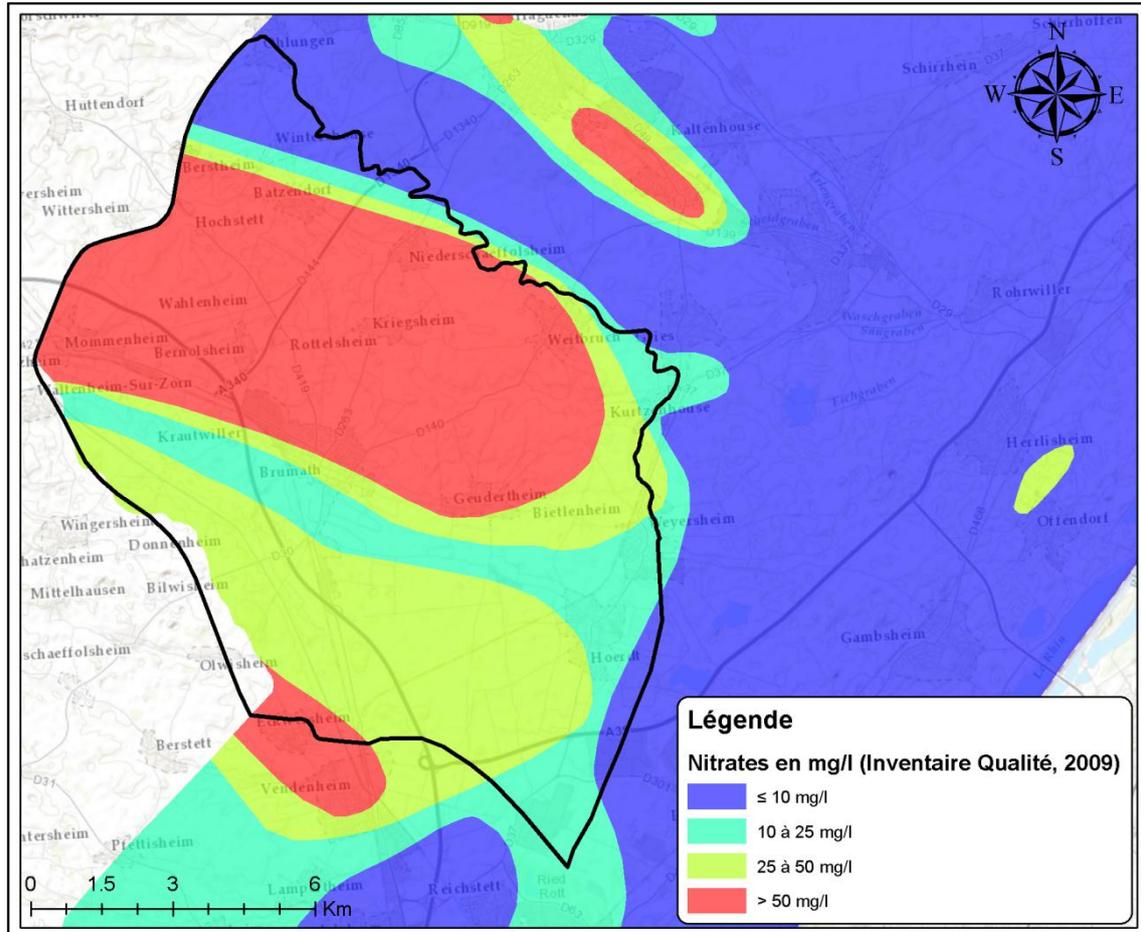


Illustration 56 : Carte des concentrations en nitrates dans les eaux souterraine issue de l'Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan – zone de « Mommenheim-Brumath-Cône de la Zorn » (Région Alsace, 2012)

Au sein des eaux souterraines contenues dans les alluvions du cône de déjection de la Zorn, les valeurs mesurées en nitrates sont moins importantes. Néanmoins, elles restent suffisamment élevées pour nécessiter une surveillance continue. Le panache de valeurs comprises entre 25 et 50 mg/l coïncide assez bien avec les directions d'écoulement souterrain présentées dans le chapitre 4.3.4. Les pressions agricoles étant sensiblement moins importantes à cet endroit que celles recensées au sein du Kochersberg, ces teneurs non négligeables en nitrates semble conforter l'hypothèse d'un apport d'eau (souterrain et sub-surface) provenant du Kochersberg, et plus particulièrement du bassin versant du Landgraben. L'activité agricole, déjà mise en évidence en bordure Nord du graben de Pfulgriesheim (cf. chapitre 3.5.3), y est en effet très importante (betteraves à sucres, blé, maïs, houblon). Leurs influences potentielles sur la dégradation des eaux situées en aval mériteraient d'être évaluées à travers une étude plus localisée.

Il faut noter toutefois la faible densité de points analysés au cœur du cône de déjection (cf. Illustration 53), ce qui augmente le degré d'incertitude de l'interpolation réalisée à cet endroit.

4.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & PRECONISATIONS/RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE

Historiquement, la vallée de la Zorn constitue la partie du secteur la plus exploitée pour ses eaux souterraines, profitant d'un contexte hydrogéologique favorable avec une nappe dans les alluvions déposées par la Zorn durant le Quaternaire, peu profonde et ayant de bonnes caractéristiques hydrodynamiques. Ce secteur est relativement bien connu de par la densité importante d'ouvrages recensée le long du cours d'eau, de Mommenheim à Hoerdt, qui sont de plus généralement bien documentés, notamment du fait de nombreux forages destinés à l'AEP.

A contrario, en s'éloignant en rive droite, **au cœur du cône de déjection de la Zorn**, dans sa partie plus boisée, la densité d'ouvrages faiblit sensiblement. Des profils **géophysiques à haute résolution** pourraient être réalisés perpendiculairement à l'axe principal de ce cône de déjection, plutôt dans sa partie aval, dans l'objectif d'estimer au mieux l'épaisseur, mal connue, des alluvions würmiennes qui le composent.

De même, en limite est du cône de déjection, les alluvions anciennes d'origine rhénane apparaissent et s'intercalent entre les alluvions vosgiennes et les sables pliocènes, en augmentant leur puissance dans la direction Est-Sud-Est. Le positionnement de cette limite d'apparition des alluvions rhénanes reste néanmoins assez incertaine car très dépendante de la qualité des descriptions des coupes géologiques des forages en présence. Une autre **campagne géophysique à haute résolution** pourrait être menée, cette fois-ci avec des profils parallèles à l'axe du paléochenal de la Zorn, pour préciser cette limite d'apparition. Mieux que cela, la réalisation de **forages de reconnaissance peu profonds avec une description fine des lithologies** rencontrées apporterait de précieuses informations sur ce point.

Dans le cadre d'un prochain inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé rhénan, il serait pertinent d'**augmenter la densité des points analysés au cœur du cône de déjection de la Zorn, entre Olwisheim et Hoerdt**. Cette zone, apparemment problématique vis-à-vis des nitrates, semble qualifiée comme telle sur la base d'un nombre insuffisant d'ouvrages.

Au niveau des collines de Brumath, la carte géologique au 1/50000^{ème} suppose l'existence de failles expliquant certains tracés de ruisseaux sans qu'elles n'aient été reconnues. Là aussi, la réalisation de plusieurs profils géophysiques à haute résolution, localisés perpendiculairement à ces failles supposées permettraient de mieux appréhender ce secteur faiblement documenté, en confirmant (ou non) la présence de ces failles et la période à laquelle elles ont pu jouer. Des **investigations géologiques de terrain complémentaires** semblent également nécessaires au sein des collines de Brumath afin de caractériser les formations affleurantes notamment dans les vallons des ruisseaux et pour vérifier notamment si des secteurs voient les sables du Pliocène, censés être sous couverture lœssique, positionnés en réalité à l'affleurement.

Comme pour le graben de Pfulgiesheim il n'est actuellement pas possible de différencier systématiquement les affleurements de lœss rissien de ceux de lœss würmien au niveau des collines de Brumath. Or ces deux contextes de dépôts sont probablement à l'origine de lœss à caractéristiques intrinsèques divergentes, ce qui peut avoir une incidence sur l'effet de retardement de transfert de polluants vers la nappe sous-jacente des sables du Pliocène. Selon les caractéristiques lithologiques du lœss (présence de silts grossiers ou matrice fine et argileuse), celui-ci présentera une variabilité importante dans sa propension à laisser ruisseler ou à infiltrer l'eau ; variabilité qui est par ailleurs constatée sur le secteur à travers la carte IDPR (cf. chapitre 4.5.2). Une approche possible pour améliorer la connaissance sur cet aspect

consisterait à mener **une campagne de carottages dans ces loëss**, en plusieurs points des collines, qui seraient choisis de manière à intégrer toutes les configurations qui y sont rencontrées (différentes épaisseurs de ZNS, différentes zones selon la capacité à infiltrer/ruisseler...etc...). Sur les échantillons recueillis pourraient être réalisées des **mesures de leurs propriétés physico-chimiques et texturales** (porosité) ainsi qu'une **analyse graduée** (tous les 30 à 50 cm par exemple, ordre de grandeur de la distance annuelle parcourue verticalement par l'eau dans un loëss), **de quelques polluants** majeurs sachant que la problématique nitrates est particulièrement forte au sein des collines.

L'un des plus importants facteurs d'incertitude concerne la connaissance des horizons aquifères réellement captés au sein des collines de Brumath. A l'exception de l'information sur la profondeur des ouvrages, ces derniers sont souvent pauvrement décrits. Il est assez rare de trouver les informations sur le positionnement des venues d'eau (pour les trous nus) ou des crépines quand ces ouvrages sont équipés. Pour parfaire la connaissance du milieu capté sur ce secteur, il semblerait pertinent d'y réaliser (i) une **campagne fine de recensement** des ouvrages réellement existants, (ii) de réaliser des **passages caméras et des essais au micromoulinet** pour estimer au mieux la profondeur des venues d'eau et/ou le positionnement des crépines. Un travail complémentaire consisterait à **analyser la chimie voire à dater les eaux captées** par ces ouvrages, sur la base de données historiques et à l'issue d'une campagne terrain de prélèvements (à mener en hautes eaux et basses eaux).

Parallèlement à cela, dans les secteurs des collines en déficit d'information, il paraîtrait intéressant de réaliser **un ou deux forages d'exploration** à vocation purement scientifique. Par exemple, un forage de reconnaissance à l'Ouest de l'autoroute A340 pourrait apporter des éléments sur l'influence éventuelle de ce secteur sur les eaux captées par les forages AEP de Mommenheim. Ces ouvrages feraient l'objet d'une attention particulière dans la description des formations rencontrées, pourquoi pas via un carottage sur des horizons bien définis (lithologie, texture, épaisseur de loëss...), et dans la détermination de leur potentiel aquifère (via des essais de pompage...).

Concernant les échanges nappes-rivières, une hypothèse forte a été émise sur une potentielle variation saisonnière du sens des échanges entre la nappe et la Zorn au sein de la zone d'étude. Ceci mériterait d'être vérifié sur la base d'autres métriques (jaugeage différentiel le long de la Zorn, analyses hydrochimiques, bilan hydrique complet via une modélisation globale avec prise en compte des données de pluies et de prélèvements).

Concernant les relations entre la nappe des alluvions de la Zorn et celle des sables du Pliocène, a priori souvent séparées l'une de l'autre par des intercalaires argileux, elles ont pu être établies au niveau du champ captant de Mommenheim. Plus en aval, cette connexion n'a pas été clairement mise en évidence. Pour ce faire, il serait intéressant de répertorier plusieurs forages proches les uns des autres et captant, pour certains, uniquement la frange alluvionnaire de la Zorn, pour d'autres, uniquement la nappe des sables du Pliocène. Une **campagne de mesure de leur niveau piézométrique**, à différentes époques de l'année, ainsi que la **réalisation de pompages d'essai** sur chacun des ouvrages sélectionnés, permettrait de préciser les conditions de charge de ces deux nappes, leurs variations au cours du temps, et les conséquences éventuelles que peut générer un pompage d'eau d'une des deux nappes, sur l'autre.

En bordure Sud-Ouest du cône de déjection, vers Eckwersheim et Vendenheim, la zone se révèle complexe d'un point de vue structural (présence de nombreuses failles supposées) mais aussi d'un point de vue géologique avec la superposition de trois formations potentiellement aquifères, sur de faibles épaisseurs (Terrasse sableuse de la Zorn, Alluvions rhénanes et Sables Pliocène). Et peu d'ouvrages y sont bien documentés alors que les teneurs

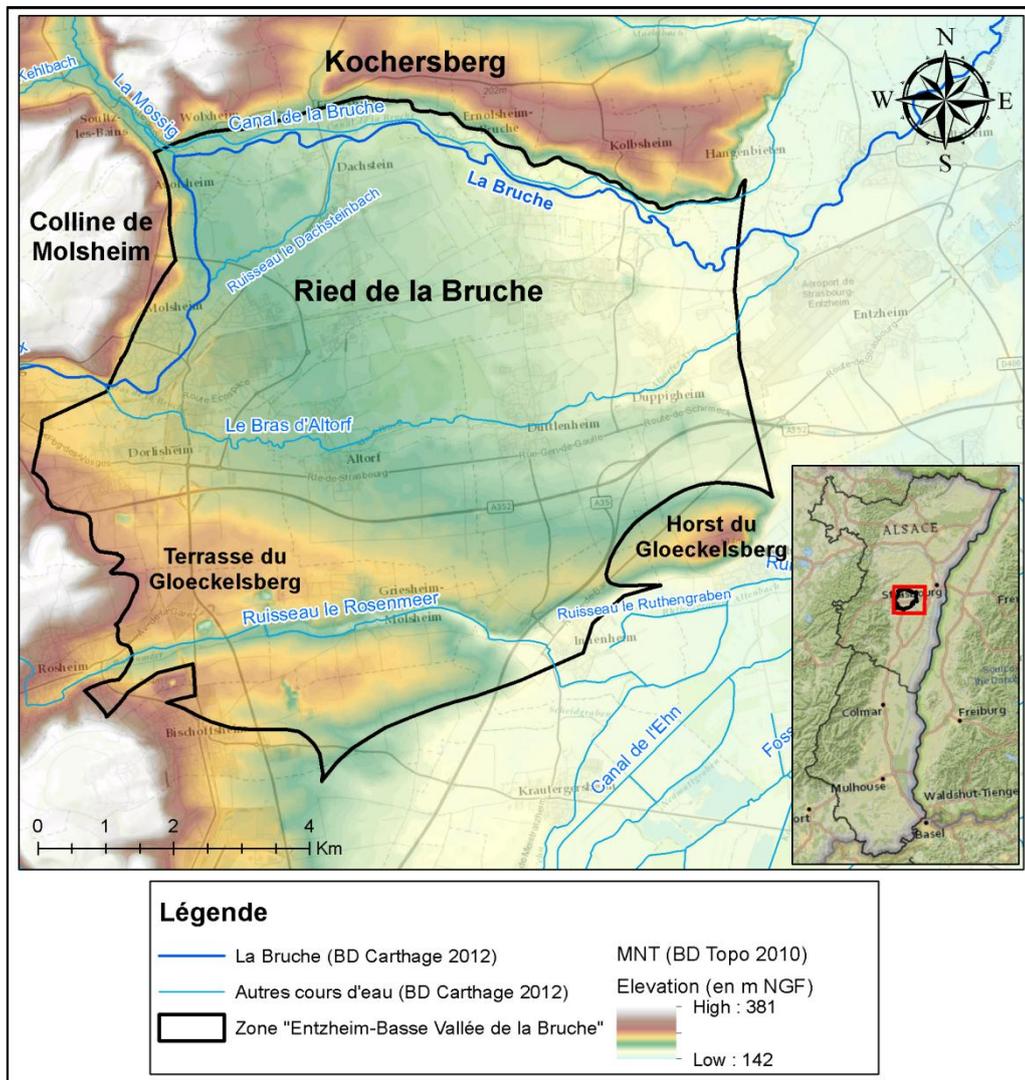
en nitrates dans les eaux souterraines en aval immédiat de ce secteur sont particulièrement élevées. Il est donc recommandé de mener ici aussi une autre campagne géophysique à haute résolution.

5. Secteur Entzheim-Basse vallée de la Bruche

5.1. DESCRIPTION GENERALE DU SECTEUR

5.1.1. Contexte topographique et limites du secteur

Le secteur « Entzheim-Basse Vallée de la Bruche » est située dans le département du Bas-Rhin, au Sud-Ouest de Strasbourg. Elle correspond à la partie du Ried⁵ de la Bruche entre Molsheim et Entzheim, formant une plaine cernée de part et d'autre par les terrasses du Kochersberg et du Gloeckelsberg (cf. Illustration 57). Deux ensembles naturels s'y distinguent, l'un autour de la Bruche et son canal au Nord, l'autre autour du Bras d'Altorf (appelé Vieille Bruche) au Sud.



⁵ Ried : région marécageuse soumise périodiquement, lorsqu'elle est à l'état naturel, à l'inondation par débordement ou par remontée de la nappe.

Illustration 57 : Carte d'élévation topographique du secteur « Entzheim-Basse Vallée de la Bruche » et de localisation des cours d'eau (MNT : Modèle Numérique de Terrain)

La limite Ouest de cette zone correspond aux collines sous-vosgiennes ou collines de Piémont, d'altitude moyenne oscillant entre 300 et 700 m, représentées par l'extrémité méridionale du champ de fractures de Saverne. Ces collines doivent leurs aspects divers à la variété de leur sous-sol, découpé par un réseau serré de failles, engendrant la juxtaposition de grès, calcaires et marnes d'âge secondaire et tertiaire, masqués par endroits par des alluvions et même du lœss (BRGM, 1975). A l'affleurement, les terrains sont par conséquent variés, d'âge triasique à oligocène inférieur.

La ville de Molsheim est localisée sur les coteaux de ces collines sous-vosgiennes qui marquent la transition entre la plaine d'Alsace et la Vallée de la Bruche en montagne. A la sortie de ce « goulot d'étranglement géologique », le fond de la vallée s'élargit considérablement et fait place à une véritable plaine. Cette plaine, autrement appelée **Basse Vallée ou Ried de la Bruche ou Fossé de la Bruche**, et correspondant géomorphologiquement à un cône de piémont, est associée au fossé rhénan. La Bruche étale ses sinueux méandres, conférant au site un aspect typiquement riedien. Dans cette zone, ses affluents sont très rares.

L'existence de deux tracés de la rivière, Bruche et Bras d'Altorf (Vieille Bruche), résulte de l'abandon de multiples chenaux et de la concentration des eaux sur les deux bords du cône initial de déjection de la Bruche (ADEUS, 2011).

Au Nord et au Sud, la Basse Vallée de la Bruche est encadrée par les **terrasses du Kochersberg et du Gloeckelsberg**. Cette dernière correspond à un ensemble plus résistant qui ne s'est pas érodé avec l'effondrement du fossé rhénan. S'avancé jusqu'aux abords de Blaesheim, cette terrasse à peine saillante est marquée à son extrémité par le petit **horst du Gloeckelsberg ou Horst de Blaesheim**, culminant à 199 m.

A l'aval de Kolbsheim, la Bruche a abandonné son ancienne vallée, implantée aux pieds du rebord des terrasses d'Achenheim-Wolfisheim et a rejoint l'ancien lit du Bras d'Altorf passant par Holtzheim.

Comme toutes les autres rivières vosgiennes, la Bruche se caractérise par un régime de type torrentiel assez marqué. Plusieurs crues subites y sont généralement observées au cours de l'hiver, du fait des importantes précipitations qui affectent son cours moyen et supérieur. Son débit de pointe a été évalué à Molsheim en 1919 et 1947 à environ 300 m³/s (Rebouças, 1964). Le QMNA5 (débit mensuel minimal annuel mesuré sur une durée de 5 ans) sur la Bruche à la station de Mutzig est évalué à 2 m³/s (Banque Hydro).

5.1.2. Critères utilisés pour délimiter le secteur

Cette zone de bordure correspond à l'extension maximale du cône de déjection de la Bruche et intègre par conséquent la nappe contenue dans les alluvions vosgiennes associées au cours d'eau qui reposent sur un substratum marneux oligocène. Cette nappe s'écoule en direction Est, pour rejoindre la nappe contenue dans les alluvions d'origine rhénane.

Les premiers travaux de délimitation, menés par Elsass en 2009 et s'appuyant sur le modèle MoNit (projet Interreg III, LUBW, 2002-2006), considéraient comme zone de bordure la partie Amont des débouchés de la Bruche et de son affluent principal, la Mossig (cf. Illustration 58 – secteurs hachurés en jaune). Cependant, les hypothèses prises à l'époque pour définir la limite Est de ce zonage ne sont pas clairement explicitées.

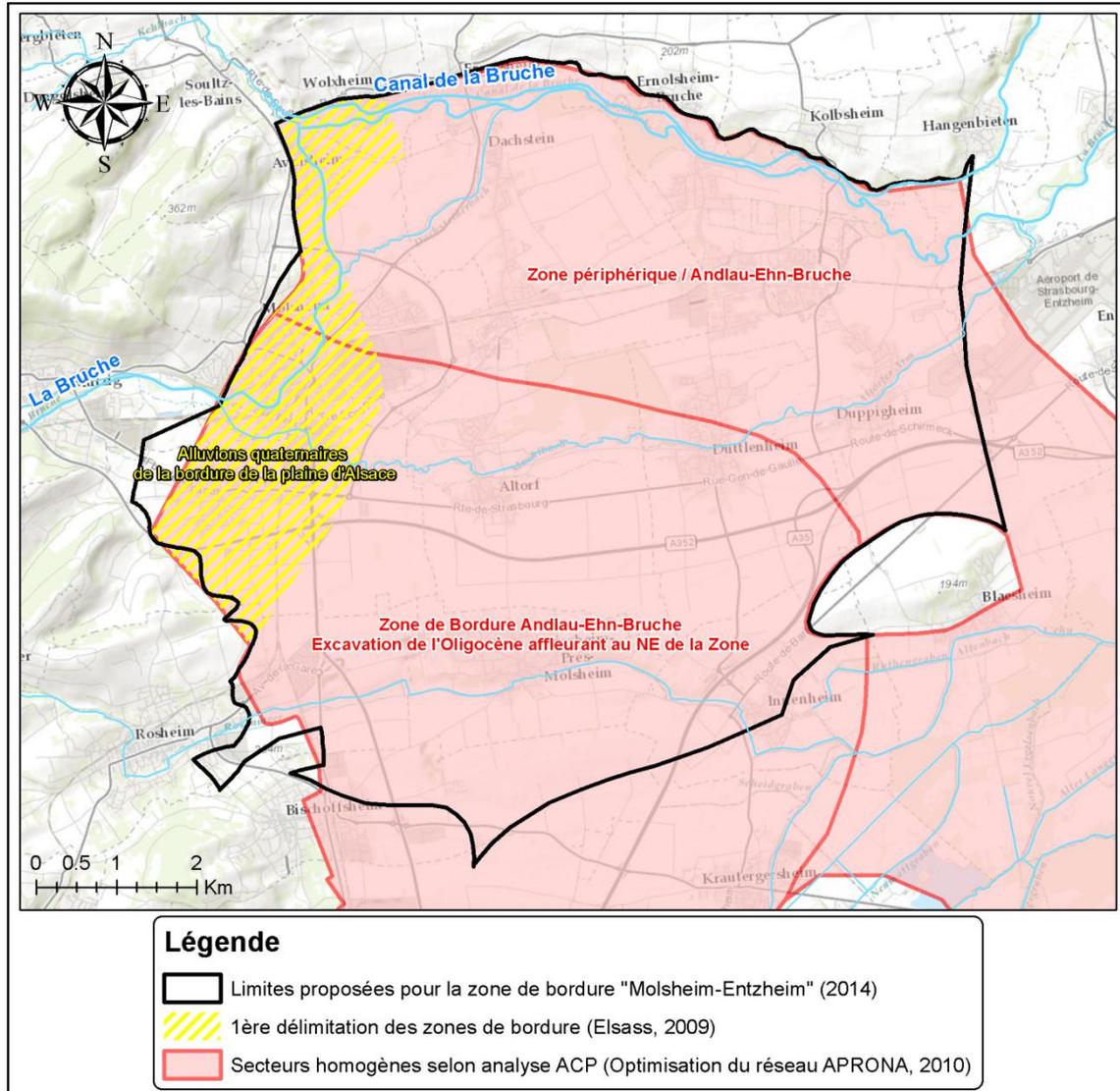


Illustration 58 : Les évolutions dans la définition d'un zonage homogène dans le secteur de la Basse vallée de la Bruche à travers trois études (Elsass, 2009 – Urban et al., 2010 – Présente étude, 2014)

Les travaux d'optimisation du réseau de surveillance de l'APRONA (Urban et al., 2010) ont permis d'identifier deux secteurs distincts du point de vue des facteurs expliquant les signaux piézométriques (cf. Illustration 58 – secteurs en rouge) :

- Sur la moitié Sud-Ouest de la zone délimitée, la partie Nord du secteur identifié comme « Zone de Bordure Andlau – Ehn – Bruche. Excavation de l'Oligocène affleurant au NE de la Zone ». Cette zone coïncide assez bien avec la paléovallée de la Bruche, de direction Sud-Est (cf. chapitre 5.2.1) et se caractérise par des grosses épaisseurs d'alluvions vosgiennes. Selon les travaux d'analyse statistique menés en 2010, ce secteur est caractérisé par des apports latéraux particuliers et les signaux piézométriques qui y sont mesurés ne peuvent pas être expliqués par les seuls critères « Rhin », « Rivières Vosgiennes » et « Précipitations » ;
- la partie Nord-Ouest du secteur « Zone périphérique / Andlau – Ehn – Bruche. » qui caractérise la moitié Nord-Est de la zone délimitée et pour laquelle les précipitations contribuent, pour plus de 30%, aux signaux piézométriques mesurés.

Les contours proposés dans la présente étude (cf. Illustration 30 – secteur bordé en noir) s'appuient sur ces deux sectorisations, essentiellement pour les limites Nord et Ouest. Néanmoins, des critères complémentaires ont été considérés :

- pour la partie Est : la limite d'apparition des alluvions d'origine rhénanes et la présence de failles quaternaires de direction Nord-Sud (cf. chapitre 5.2.1) ;
- pour la partie Ouest : la limite de disparition des alluvions anciennes de la Bruche (cf. chapitre 5.2.1 et 5.2.2).

5.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

5.2.1. Description générale

La Plaine de la Bruche est constituée de formations superficielles quaternaires (alluvions sablo-caillouteuse de la Bruche et lœss), reposant sur un substratum formé de dépôts marneux d'âge oligocène moyen essentiellement.

Ces terrains marneux oligocènes affleurent d'ailleurs en limite Nord de la plaine, au niveau des versants méridionaux de la terrasse du Kochersberg, sur lesquels se trouvent les agglomérations de Kolbsheim et Ernolsheim-sur-Bruche. Ils se retrouvent de nouveau à l'affleurement au pied de la vallée de Blaesheim, sur le versant Sud du horst de Gloeckelsberg.

Les lœss qui recouvrent à la fois une partie de la plaine vers Dachstein, les terrasses du Kochersberg et de Gloeckelsberg ainsi que les versants orientaux des collines sous-vosgiennes, ont été déposés sur un bloc tectonique intermédiaire par suite de la déflation éolienne sur le cône de la Bruche, au cours de phases climatiques froides du Quaternaire. D'après la carte géologique de Molsheim au 1/50000^{ème} (BRGM, 1975), ces lœss sont dissociables de par leur époque de dépôt au cours du Pléistocène :

- les lœss würmiens carbonatés qui recouvrent les versants Est des collines sous-vosgiennes et une partie des alluvions vosgiennes dans la moitié Nord de la zone d'étude, sont les plus récents (Weichsélien - Pléistocène supérieur) ;
- la moitié Sud de la zone d'étude, rive gauche du Bras d'Altorf et Terrasse du Gloeckelsberg, est quant à elle recouverte de lœss anciens d'âge Riss probable (Saalien – Pléistocène Moyen) ;
- la terrasse du Kochersberg est recouverte de lœss et lehm anciens à récents, partiellement décalcifiés et d'âge Pléistocène indifférencié.

Des colluvions lœssiques, à dominante limono-argileuse sont également observées au pied des collines sous-vosgiennes.

Tout comme les lœss, différents types d'alluvions affleurent à l'intérieur de la zone d'étude, à savoir, des plus récentes au plus anciennes :

- les alluvions vosgiennes holocènes le long des cours d'eau actuels (Bruche, Bras d'Altorf et Rosenmeer) ;
- les alluvions vosgiennes de l'Holocène ancien à récent, dans la moitié Nord de la zone d'étude (entre la Bruche et le Bras d'Altorf), et qui recouvrent des alluvions vosgiennes würmiennes (Pléistocène supérieur) ;
- entre Dorlisheim et la terrasse du Gloeckelsberg, au pied des collines sous-vosgiennes, des alluvions vosgiennes anciennes mindeliennes (Pléistocène Moyen) sont observées.

Comme l'illustre également la coupe de l'illustration 59, les dépôts d'âge Oligocène moyen n'affleurent qu'au Nord du cours inférieur de la Mossig, dans la région d'Ergersheim-Osthoffen (Kochersberg), compartiment surélevé couvert de lœss, supposément bordée au Sud par la faille de la Bruche.

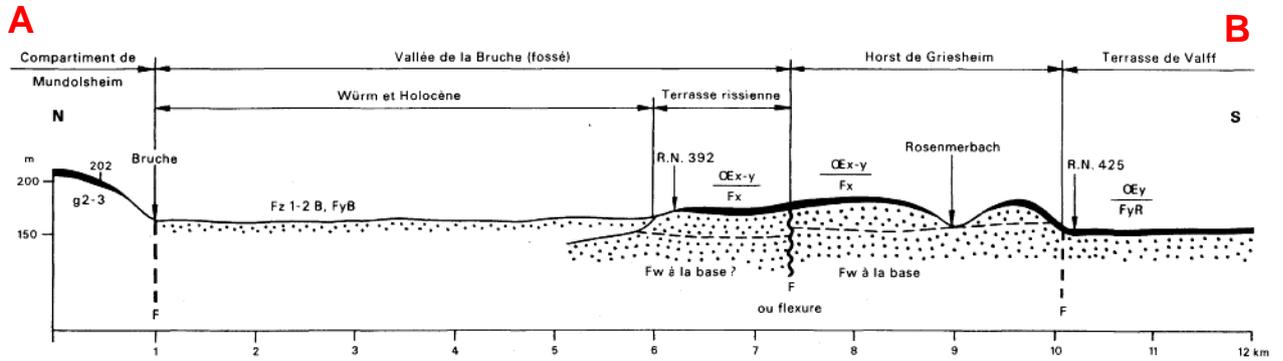


Illustration 59 : Coupe Nord-Sud en lisière est de la feuille Molsheim (entre Osthoffen et Meistratzheim) - H Vogt (BRGM, 1975)

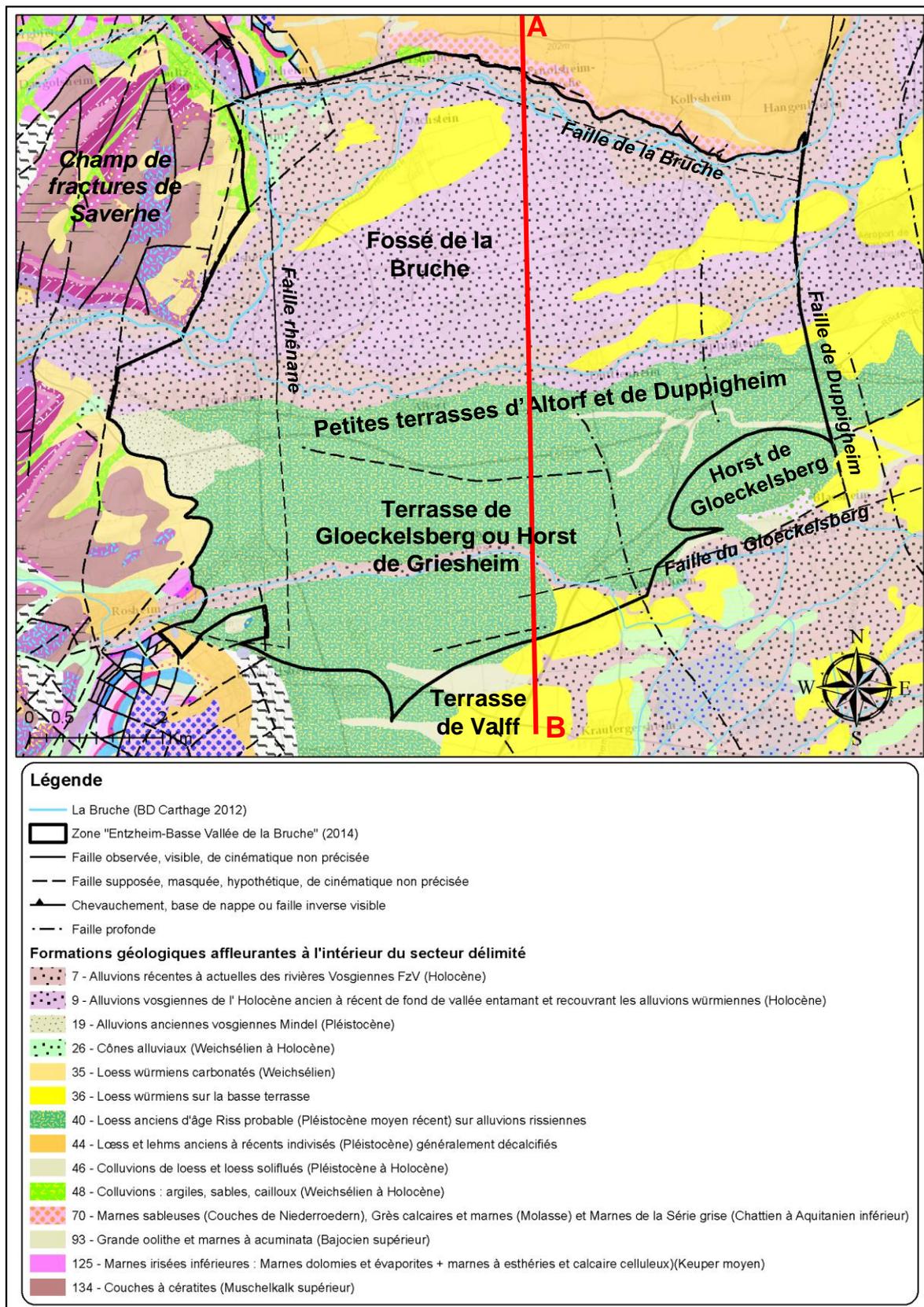


Illustration 60 : Extrait de la carte géologique harmonisée au 1/50000^{ème} centrée sur la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche », d'après les cartes géologiques de Molsheim (BRGM, 1975) et Strasbourg (BRGM, 1971)

D'un point de vue structural, l'intérieur de la zone est recoupée par un système de failles datant du Riss ou du Riss-Würm, de direction W-E ou S.SW-N.NE, individualisant ainsi:

- **Le fossé de la Bruche.** La Bruche a pu être guidée vers l'Est par suite de ces événements tectoniques. La limite Nord de ce fossé où formations würmiennes et holocènes se confondent, serait guidée par une faille longeant le cours d'eau actuel de la Bruche (« Faille de la Bruche »). La limite Sud correspond à la petite terrasse d'Altorf qui se prolonge, à l'Est, par la terrasse de Duppigheim. D'après Rebouças (1964), ce n'est que plus à l'Est, à partir d'Entzheim, que l'incision régressive de la Bruche, suite à l'entaille fini-würmienne et holocène du Rhin, a dégagé une terrasse würmienne et une terrasse holocène ;
- **Le horst de Griesheim** se prolongeant vers l'Est par le Gloeckelsberg. En effet, le talus au Sud d'Altorf correspondrait à une faille ou une flexure. Une sablière située à l'Est de Rosheim met à l'évidence une masse alluviale totale de 60 m environ, composée d'alluvions Mindel à Riss (Pléistocène moyen) et surmontés par des loëss rissiens et würmiens ;
- A l'Est de Duppigheim, un resserrement des lignes de niveau du toit du substratum marneux a été observé (Rebouças, 1964) puis confirmé (Elsass, 1996). En effet, la pente du substratum s'infléchit brutalement en direction du Rhin. Cette configuration s'expliquerait par la présence d'une faille de direction Nord-Sud (« Faille de Duppigheim ») affectant le substratum à hauteur d'Entzheim, mise en évidence lors de campagnes géophysiques prospectives pour le pétrole (Rebouças, 1964).

La faille rhénane, que l'on peut localiser approximativement par la limite Est du vignoble, rebord apparaissant dans le relief, est plus difficile à préciser car son tracé est masqué par les loëss couvrant les versants Est des collines sous-vosgiennes. Dans la zone d'étude, du Sud au Nord, elle semble traverser Bischoffsheim et Molsheim puis subir un décrochement vers l'Est à Wolxheim.

Les paléovallées de la Bruche et de la Mossig

L'alignement des zones maxima d'accumulation alluviale observée dans le secteur montre que la Bruche et la Mossig se sont d'abord écoulées en direction Sud-Est et qu'elles n'ont été détournées vers l'Est qu'au Quaternaire récent.

A son débouché sur la plaine, la Bruche a creusé, à l'époque pliocène, une profonde vallée en direction du Sud-Est, vers Erstein, pour rejoindre probablement les eaux de la partie occidentale du bassin alpin du Rhin qui s'écoulaient selon un paléo-Doubs vers la plaine de la Saône et la Méditerranée (Simler *et al.*, 1967, Menillet, 1995). D'après Vogt (1992), cette paléovallée, profonde de près de 80m, a été remblayée d'alluvions vosgiennes durant le Pléistocène, la rivière migrant vers le Nord, en édifiant un vaste cône, à la partie supérieure du Quaternaire moyen et au Quaternaire supérieur (cf. Illustration 61).

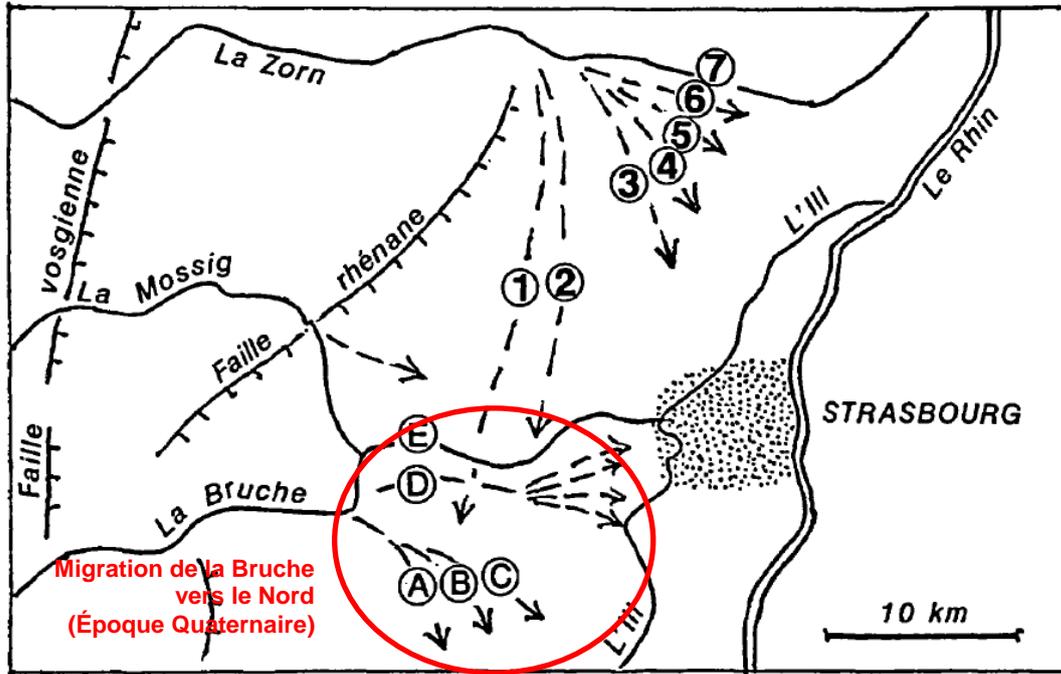


Illustration 61 : Migration du cours de la Bruche (A à E) vers le Nord au cours du Quaternaire (d'après Vogt, 1992)

Cette paléovallée a été mise en évidence dès les années 1960, au travers de campagnes géophysiques au Sud-Est et à l'Est de Molsheim (Simler, 1961, Rebouças, 1964). La dépression marquée du toit du substratum marneux mise en évidence par Rebouças en 1964, témoigne bien de la présence de cette paléovallée (cf. Illustration 62).

De même, dans la continuité de la Mossig, un sillon étroit de direction Nord-Sud a également été mis en évidence, qui se raccorde avec la paléovallée de la Bruche entre Altorf et Griesheim-près-Molsheim (cf. Illustration 62).

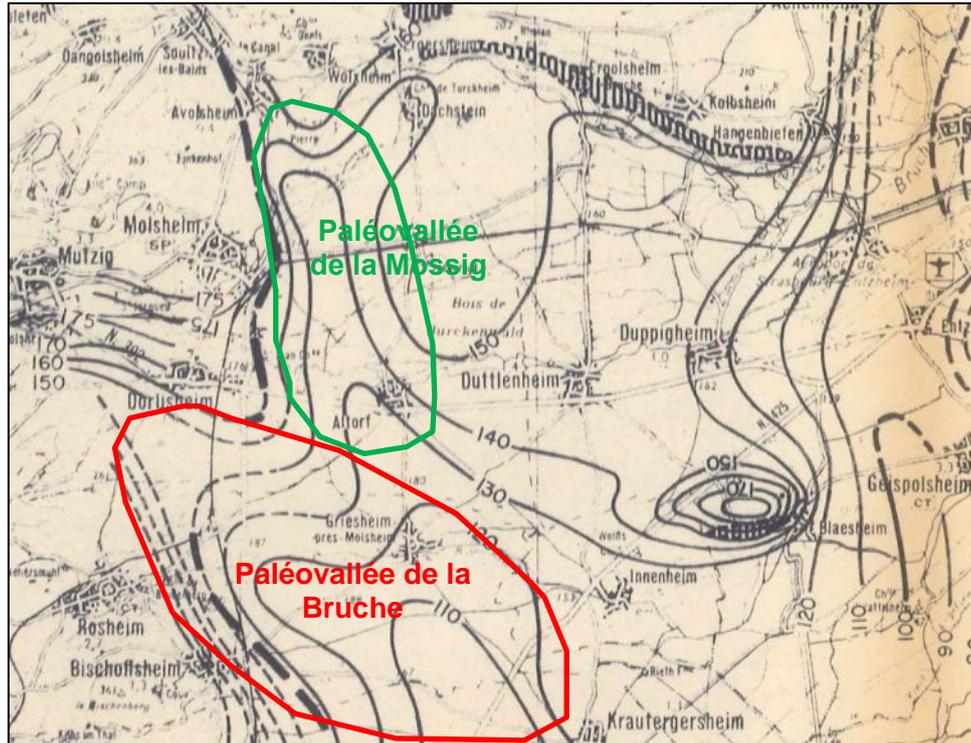


Illustration 62 : Toit du substratum marneux imperméable montrant les paléovallées de la Bruche et de la Mossig (Rebouças, 1964)

Les travaux menés dans le cadre de la BRAR sur la cartographie du toit du substratum en appui au programme franco-germano-suisse LIFE (Elsass, 1996) ont bien confirmé la présence de la paléovallée de la Bruche mais pas celle de la Mossig. Ceci s'explique probablement par l'absence de point de calage dans ce secteur ne permettant pas de mettre clairement en évidence ce chenal.

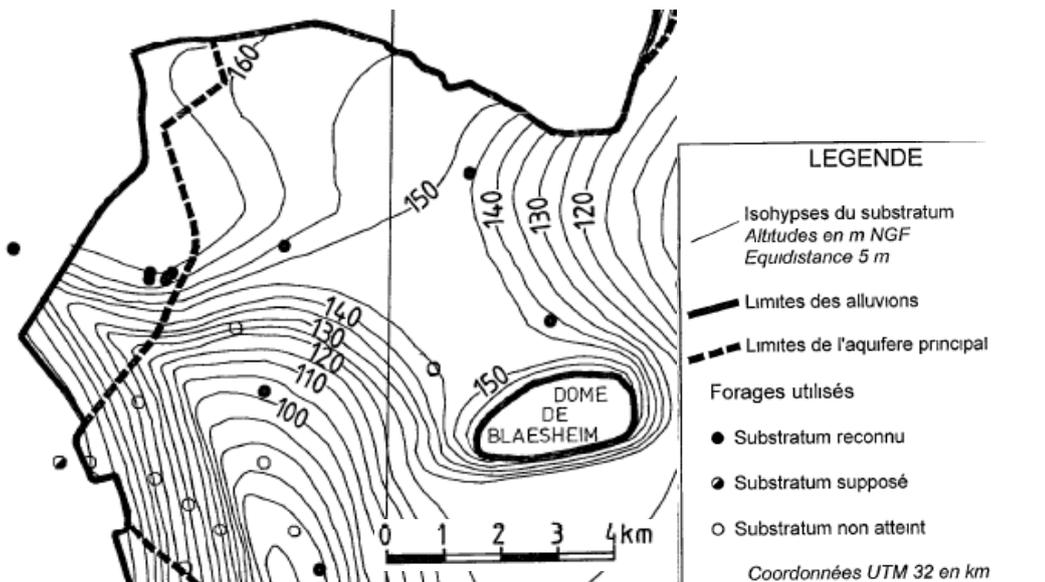


Illustration 63 : Extrait de la carte du toit du substratum réalisée dans le cadre du projet LIFE (Elsass, 1996)

5.2.2. Cartographie des formations superficielles (BRAR, 2011)

La carte des formations superficielles (Urban et Boucher, 2011) confirme la présence, en surface, d'une importante couche de loess sur la moitié Sud de la zone, de la terrasse d'Altorf jusqu'à la terrasse de Valff, en passant par le Horst de Griesheim (cf. Illustration 64). L'épaisseur de ces loess était jusqu'à présent estimée autour de 2 à 3 m, ou plus en remplissage de vallons (BRGM, 1975). Cependant, les investigations menées dans le cadre de la cartographie des formations superficielles ont permis de préciser ces épaisseurs, à savoir :

- pour les loess recouvrant la terrasse d'Altorf et le horst de Griesheim, une épaisseur de 5 m, en moyenne, pouvant atteindre les 10 m par endroits ;
- pour les loess situés en limite Sud de la zone (rive droite du cours d'eau Rosenmeer et Terrasse de Valff), une épaisseur de 8,5 m, en moyenne pouvant dépasser les 15 m par endroits ;
- pour les loess au Nord du secteur, recouvrant les alluvions graveleuses würmiennes, une épaisseur inférieure à 2 m.

Des limons d'inondation sont nettement identifiés le long du cours d'eau Rosenmeer.

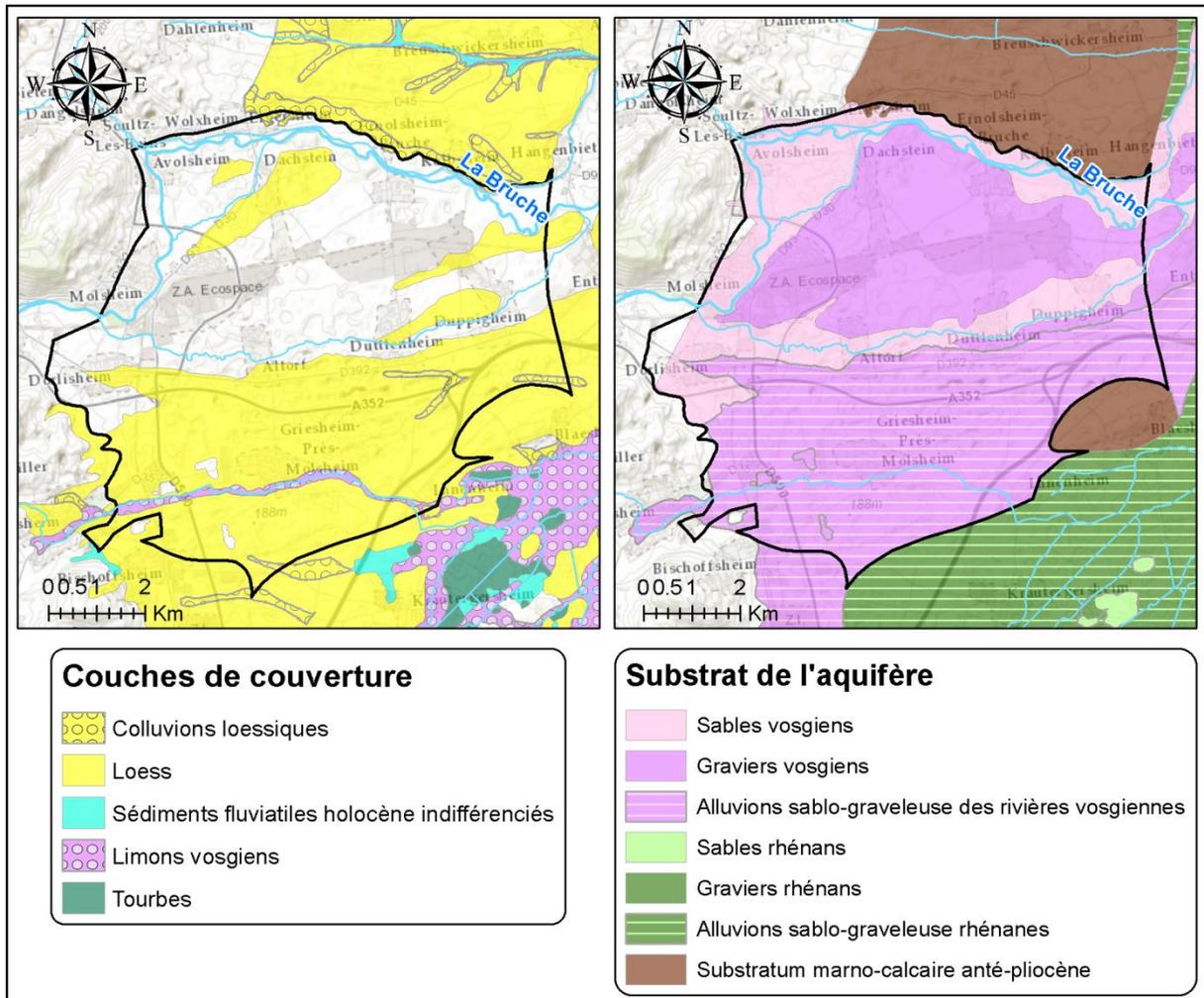


Illustration 64 : Cartographie des formations superficielles dans la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » - à gauche les formations récentes de couverture, à droite, le substrat des formations aquifères (d'après Urban et Boucher, 2011)

Aucune couverture loessique n'a été cartographiée dans le fossé de la Bruche, qui voit par conséquent affleurer les formations alluviales peu épaisses déposées par le cours d'eau durant le Quaternaire récent (Würm puis Holocène).

L'illustration 64 montre que la limite Sud de la zone d'étude coïncide clairement avec la limite supposée d'apparition des alluvions sablo-graveleuses rhénanes sous couverture loessique. Il en est de même pour son prolongement Ouest qui est lui-même induit par la réapparition, à l'affleurement, du substratum marneux oligocène.

5.2.3. Description des formations géologiques rencontrées à l'affleurement

Les formations de l'Oligocène

- **Marnes sableuses (Couches de Niederroedern), Grès calcaires et marnes (Molasse) et Marnes de la Série grise (Chattien à Aquitanien inférieur)**

Ces formations, souvent difficiles à distinguer sur le terrain du fait de leur remaniement important en surface sur plus d'un mètre, affleurent néanmoins en rive gauche de la Bruche, sur les versants méridionaux de la terrasse de Kochersberg.

Tandis qu'à Kolbsheim, affleurent des marnes gris-vert à Huîtres et à Cyrènes surmontées de grès calcaires, de marnes gris foncé et de marnes beiges à concrétions calcaires (couches d'eau douce d'âge Chattien), à Ergersheim, affleurent des marnes bariolées brun-rouge fréquemment gréseuses et contenant quelques lits conglomératiques.

Les formations du Pléistocène

- **Alluvions anciennes vosgiennes du Mindel**

Ces alluvions sablo-caillouteuses, affleurant au Sud de Dorlisheim, présentent une stratification torrentielle sur 15 m d'épaisseur. Les galets ne dépassent pas, en général, 15 cm de diamètre. D'autres figures de dépôt telles que des lentilles argileuses, des figures de cryoturbation ou la présence de blocs d'argile transportés à l'état gelé y sont observés. La composition lithique moyenne de ces alluvions est la suivante :

- galets cristallins: 40 % ;
- galets du sédimentaire dévonien et houiller: 30 % ;
- galets de rhyolites: 10 % ;
- galets de roches du Buntsandstein: 20 %.

La plupart des galets cristallins et des galets schisteux sont désagrégés et la matrice est légèrement rubéfiée.

Cette formation affleure également à partir de 23 m de profondeur dans la gravière Helmbacher à Rosheim.

- **Loess anciens d'âge Riss probable (Pléistocène moyen récent) sur alluvions rissiennes de la Bruche**

Ces loess recouvrent les alluvions rissiennes de la Bruche dans la moitié Sud de la zone d'étude, au niveau du Horst de Griesheim. Une gravière située à Bischoffsheim y a révélé un

paléosol (lehm rouge) très marqué auquel sont associées des concrétions (poupées) pouvant atteindre 40 à 50 cm de long. Ce paléosol pourrait correspondre à la période intermédiaire entre Riss et Würm (Eémien).

Les alluvions rissiennes qu'ils recouvrent sont associées au cône de déjection de la Bruche de l'époque Plio-Quaternaire, de direction Sud-Est (cf. chapitre 5.2.1). Les forages réalisés près de Molsheim et Griesheim-près-Molsheim ont montré que ces formations pouvaient présenter une puissance dépassant les 60m. Il s'agit d'un cailloutis bien stratifié, de taille moyenne (le diamètre ne dépasse pas 15 cm) intercalé par des strates de sables argileux blanc verdâtre, traces sans doute d'une sédimentation de décantation dans des bras abandonnés. La composition lithique moyenne de ces alluvions est la suivante :

- galets cristallins: 40 % ;
- galets du sédimentaire dévonien et houiller: 20 % ;
- galets de rhyolites: 20 % ;
- galets de roches du Buntsandstein : 20 %.

La part prise par les galets de rhyolite est légèrement plus importante que pour les alluvions mindeliennes, profitant probablement de l'évolution lente de l'incision régressive par la Bruche dans ces roches.

- **Lœss würmiens sur la basse terrasse**

Ces lœss recouvrent les alluvions caillouteuses würmiennes dans le fossé de la Bruche et un mélange indifférencié de cailloutis rhénans et vosgiens au Sud du Horst de Griesheim.

Au Nord, ils ont une faible épaisseur (de 1,2 à 2 m) et présentent parfois des intercalations de lits sableux. Le contact entre les lœss et ces intercalations présente fréquemment des figures de cryoturbation.

- **Lœss würmiens carbonatés (Weichsélien)**

Ces lœss recouvrent les pieds de versants des collines sous-vosgiennes regardant vers l'Est, en accumulations parfois épaisses, pouvant atteindre 5 mètres. Ces accumulations font penser que les vents responsables du dépôt des lœss venaient au moins en partie de l'Ouest.

- **Alluvions würmiennes de la Bruche dans la plaine, recouvertes par les alluvions vosgiennes holocène**

Alluvions würmiennes de la Bruche dans la plaine. Cône würmien de la Bruche se poursuivant par la terrasse de Lingolsheim. Structure lenticulaire très marquée avec des strates d'argiles limoneuses représentant le remplissage de bras morts et des strates de sable, mais les lentilles de galets dominant. La composition lithique de ces alluvions, bien que variable, peut être approximée de la façon suivante :

- Cristallin du Champ-du-Feu : 30 % ;
- Sédimentaire du Dévonien et du Houiller; 20 % ;
- Rhyolites et tufs rhyolitiques : 35 % ;
- Grès, quartzites et quartz du Buntsandstein : 15 %.

La part prise par les galets de rhyolite est encore plus importante que pour les alluvions plus anciennes, du fait de la poursuite de l'incision régressive par la Bruche dans ces roches.

L'épaisseur du matériel est faible; 7 m près de l'usine Bugatti à Molsheim, 14 m au Jaegerhof (entre Dachstein et Altorf).

- **Cônes alluviaux (Weichsélien à Holocène)**

Près de la confluence de la Mossig avec la Bruche, les alluvions vosgiennes, essentiellement des cailloutis, changent de nature lithique avec une prédominance nette de matériaux provenant du Buntsandstein : 72 % (28 % de grès, 20 % de quartz, 14 % de quartzites), 8 % de calcaire, et 20 % seulement de roches spécifiques du bassin de la Bruche en amont de la confluence (cristallin: 10 % ; rhyolites: 6 %; sédimentaire dévonien et houiller: 4 %). La part de la Mossig prédomine, ce qui fait penser à un cône très aplati de ce cours d'eau. Les limons de débordement recouvrent l'ensemble.

Ces alluvions se caractérisent également par une concentration importante en minéraux de cassitérite (étain), issus de l'altération physique et chimique des roches primaires, lors de l'alluvionnement.

- **Colluvions : argiles, sables, cailloux (Weichsélien à Holocène)**

Ces formations, au matériel limono-argileux dominant, vont des argiles aux cailloutis anguleux ourlant les pieds des versants Est des collines sous-vosgiennes, en limite Ouest de la zone d'étude.

Ces formations se caractérisent par une structure désordonnée et associent les dépôts corrélatifs de la gélifluxion, de la reptation pelliculaire de période froide et de la solifluxion et du ruissellement consécutifs aux défrichements holocènes.

Elles sont retrouvées également plus à l'Ouest, en tant que remplissage de vallons en berceau, dans le domaine d'affleurement du Muschelkalk et du Keuper essentiellement.

Les formations de l'Holocène

- **Alluvions vosgiennes de l'Holocène ancien à récent de fond de vallée entamant et recouvrant les alluvions würmiennes**

Ces alluvions d'origine vosgienne, peu épaisses et composées de limons, sables et cailloutis, ont une composition lithique identique à celle des alluvions würmiennes sous-jacentes.

Les galets ne dépassent guère 6 cm de diamètre. Il s'agit des produits du remaniement superficiel général, et sélectif pour la taille, des galets würmiens sous-jacents par des courants divagants. Les chenaux ont été abandonnés au fur et à mesure de l'entaille de la Bruche et du Bras d'Altorf.

- **Alluvions récentes à actuelles des rivières Vosgiennes**

Ces alluvions correspondent à des sables et galets ne dépassant pas 8 cm de diamètre et sont d'origine vosgienne. Elles forment le lit majeur actuel de la Bruche et du Bras d'Altorf, sont encore partiellement soumises à inondation et les dépôts les plus fins sont constamment remaniés en surface. Elles sont parfois recouvertes par des limons d'inondation. C'est le cas le long du Rosenmeer (cf. chapitre 5.2.2).

5.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

5.3.1. Entités hydrogéologiques cartographiées dans le référentiel BDLISA

Les travaux menés dans le cadre du référentiel hydrogéologique BDLISA (Urban *et al.*, 2013) participent à une meilleure compréhension de l'organisation verticale des formations aquifères dans ce contexte particulier de transition « Vosges/Plaine d'Alsace ».

A l'affleurement sont logiquement retrouvées les formations alluviales récentes à anciennes issues de la Bruche (cf. Illustration 65), mises en évidence également sur la carte géologique au 1/50000^{ème} ainsi que dans les travaux menés sur les formations superficielles dans le cadre de la BRAR.

Ces alluvions vosgiennes aquifères reposent sur le substratum marneux des formations oligocènes du Bassin du Pechelbronn. La configuration particulière du substratum marneux entre Molsheim et Entzheim (sillons des paléovallées de la Bruche et de la Mossig, Faille supposée Nord-Sud à hauteur d'Entzheim) joue un rôle très important dans les conditions hydrogéologiques de la plaine.

La zone délimitée ne comprend ainsi aucune alluvion rhénane, que ce soit à l'affleurement ou bien intercalée entre les alluvions de la Bruche et ce substratum imperméable.

Cependant, en limite Sud, les travaux du référentiel considèrent une bande, entre Griesheim-près-Molsheim et Krautergersheim, constituée d'alluvions rhénanes récentes (fin du Würm et Holocène) qui recouvrent les alluvions anciennes de la Bruche (probablement d'âge rissien). Ce contexte a été mis en évidence notamment lors de la réalisation de l'ouvrage 02718X0001/G3 à Griesheim-près-Molsheim (cf. chapitre 5.4.1).

La limite Est de la zone de bordure, induite par la faille supposée de Duppigheim, semble également correspondre à une zone à enjeu fort d'un point de vue hydrogéologique, car mettant en contact le complexe alluvial aquifère de la Bruche avec les alluvions d'origine rhénane qui apparaissent sous les loëss et alluvions holocènes de la Bruche à partie d'Entzheim.

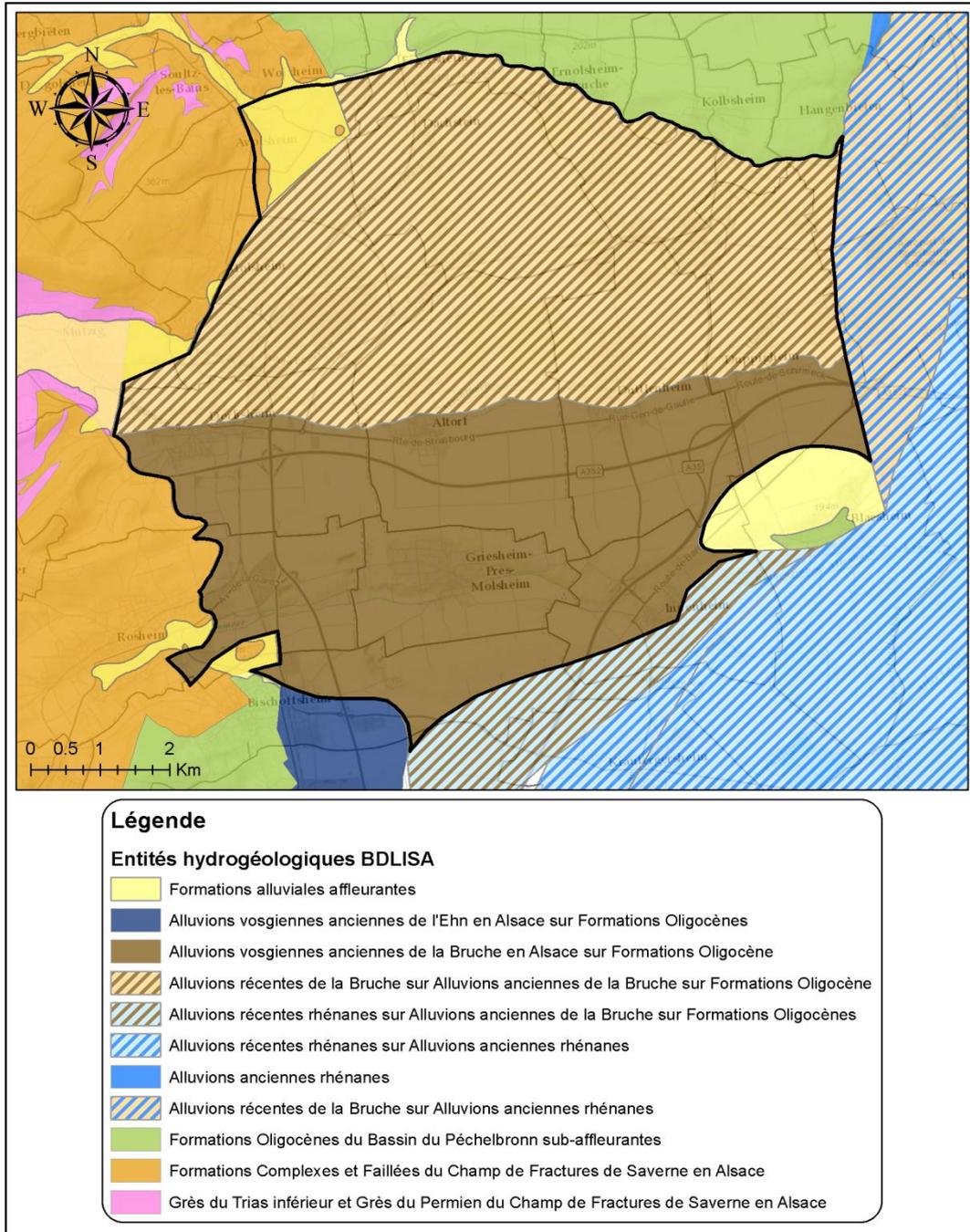


Illustration 65 : Cartographie des entités hydrogéologiques affleurantes du référentiel BDLISA répertoriés dans la zone « Entzheim – Basse vallée de la Bruche »

5.3.2. Caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère des alluvions de la Bruche

Les alluvions déposées sur le substratum oligocène marneux contiennent une nappe importante activement sollicitée par des forages pour l'alimentation des collectivités et de la brasserie Kronenbourg.

L'épaisseur de l'aquifère augmente du Nord vers le Sud-Est et d'Ouest en Est pour atteindre près de 100 m au plus profond de la vallée fossile de la Bruche (cf. chapitre 5.2.1).

Une campagne géophysique menée sur le secteur de la zone industrielle d'Ernolsheim-sur-Bruche (Partie Nord-Est de la zone d'étude) a montré que les épaisseurs de la tranche d'alluvions de la Bruche ne sont comprises qu'entre 5 et 10 m sur ce secteur (Schwoerer, 1977). A cet endroit et contrairement à des zones situées plus en amont ou dans la moitié Sud de la zone d'étude, cette configuration limite les possibilités d'exploitation des eaux souterraines.

Comme montré dans le chapitre 5.4 localisant les ouvrages à l'intérieur de la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche », les zones exploitant le plus intensément l'aquifère des alluvions de la Bruche sont effectivement situées plus au Sud, près de Molsheim, Altorf et Griesheim-près-Molsheim.

Valeurs de caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

Dans le cadre de la BRAR, une compilation des résultats de pompages d'essai sur des ouvrages captant les alluvions de la Bruche a été menée ce qui permet de spatialiser quelque peu les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

Dans la zone industrielle d'Ernolsheim-sur-Bruche, des pompages d'essai ont été menés entre 1970 et 1979, sur les forages peu profonds (15 m maximum de profondeur) captant les alluvions de la Bruche considérés comme peu productifs à cet endroit. Les valeurs moyennes de perméabilité et transmissivité sont respectivement de $8,2 \cdot 10^{-4}$ m/s et $4,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s, pour des débits maximum d'exploitation oscillant entre 5 et 15 m³/h, particulièrement faibles en comparaison des autres secteurs de la zone d'étude (Schwoerer, 1977).

En effet, plus au Sud-Ouest, entre Altorf et Griesheim-près-Molsheim, des essais réalisés en 1985 sur l'ouvrage 02714X0101/F, profond de 81m et traversant 10m de loess puis les alluvions récentes et anciennes de la Bruche et atteignant le substratum marneux à 72m, ont permis d'estimer son débit critique à 120 m³/h. A Griesheim-près-Molsheim, l'ouvrage anciennement AEP 02718X0005/G1 a fait également l'objet d'un pompage d'essai en 1968 révélant un débit critique de l'ordre de 80 m³/h.

Les ouvrages profonds situés au droit de la paléovallée de la Bruche, en limite Sud de la zone, ont montré des transmissivités meilleures que celles mesurées dans la moitié Nord, de l'ordre de 6 et 60 10^{-3} m²/s.

Recharge

Au niveau du Fossé de la Bruche, la nappe, contenue dans les alluvions holocènes à würmiennes de la Bruche semble alimentée par :

- les précipitations sur leur domaine d'extension, avec un effet retardateur éventuel dans les zones recouvertes de plusieurs mètres de loess peu perméables ;
- les apports latéraux venant d'écoulements subsuperficiels des formations des collines avoisinantes (colline sous-vosgienne de Molsheim et Terrasse de Kochersberg) ;
- La Bruche et la Mossig.

La Bruche peut localement ou temporairement drainer la nappe, ce qui semble être le cas un peu plus en aval vers Dachstein (cf. chapitre 5.3.4) et Ernolsheim-sur-Bruche (Schwoerer, 1979).

La nappe contenue dans les alluvions épaisses rissiennes à mindeliennes du Horst de Griesheim est alimentée par les arrivées d'eau provenant de la Bruche en amont du cône de déjection (vers Dorlisheim et Molsheim) et qui suivent le chenal de direction Sud-Est tracé par la paléovallée du cours d'eau. En complément, elle profite également très probablement d'écoulements latéraux de subsurface venant des formations des collines sous-vosgiennes de Molsheim et Bischoffsheim.

Battement de la nappe

D'après les chroniques piézométriques décrites plus en détails dans le chapitre 5.4.2, la nappe peu profonde captée par les ouvrages au sein du fossé de la Bruche, présente un battement annuel moyen inférieur au mètre. Les battements annuels et interannuels maximums sont très proches (de l'ordre de 1,3m), ceci s'expliquant par le caractère cyclique annuel pur de la nappe à cet endroit.

Le long du bras d'Altorf, la nappe captée par les forages présente un battement annuel oscillant entre 0,4 et 2 m.

La nappe captée par les forages localisés au niveau du horst de Griesheim présente une cyclicité pluriannuelle marquée, avec un battement interannuel maximum d'environ 2,5m, alors que le forage 02718X0003/285D situé en amont, à proximité des collines sous-vosgiennes, présente un battement interannuel maximum nettement plus élevé (d'environ 6,5m).

5.3.3. Détermination des directions d'écoulement souterrain

La délimitation des bassins versants souterrains et la détermination des lignes de courant associées confirment l'hypothèse d'un apport souterrain et en surface global venant de l'Ouest (cf. Illustration 66).

Au niveau du débouché de la Bruche, au Sud de Molsheim, les eaux souterraines contenues dans les formations alluviales se déversent de façon radiale, en prenant des directions Nord-Est à Sud-Est. Les lignes de courant de directions Nord-Est sont clairement induites par la présence d'un drain souterrain principal qui suit le cours d'eau de la Bruche (zone cerclée en rouge). Ceci tend à valider l'influence que peut avoir le cours d'eau vis-à-vis des écoulements souterrains. Il semble probable qu'une configuration similaire soit retrouvée pour la Mossig, en limite Nord-Ouest du secteur. Une ligne de partage des eaux est observée en limite Nord de la zone de bordure en rive gauche de la Bruche ; elle sépare les eaux s'écoulant en direction du cours d'eau de celles qui appartiennent à l'hydrosystème du ruisseau le Muhlbach.

Au sein du fossé de la Bruche, une première ligne de partage des eaux souterraines traverse les alluvions holocènes à würmiennes. Elle semble correspondre à la limite d'influence de la Bruche. Au Sud de cette ligne de partage, les eaux souterraines, provenant de la zone de débouché de la Bruche, se rejoindraient à l'intérieur d'un petit bassin versant souterrain dont le drain principal s'écoulerait en direction Est, le long de ce qui a été présenté comme les petites terrasses d'Altorf et de Duppigheim en Illustration 60.

Il faut noter que, contrairement à la Bruche, le Bras d'Altorf n'influence visiblement pas les écoulements souterrains. Il en est de même pour le Rosenmeer, pour lequel le tracé ne coïncide pas avec les lignes de courant principales cartographiées. En effet, ces dernières, partant du débouché de la Bruche mais également des collines sous-vosgiennes, prennent une direction Est puis semblent s'infléchir vers le Sud-Est (zone cerclée de vert), le long du chenal induit par la paléovallée de la Bruche décrite dans le chapitre 5.2.1. Il se peut que cette

direction prise par les écoulements souterrains soit également influencée par la présence de nombreux captages exploités dans ce secteur (notamment ceux destinés à l'AEP).

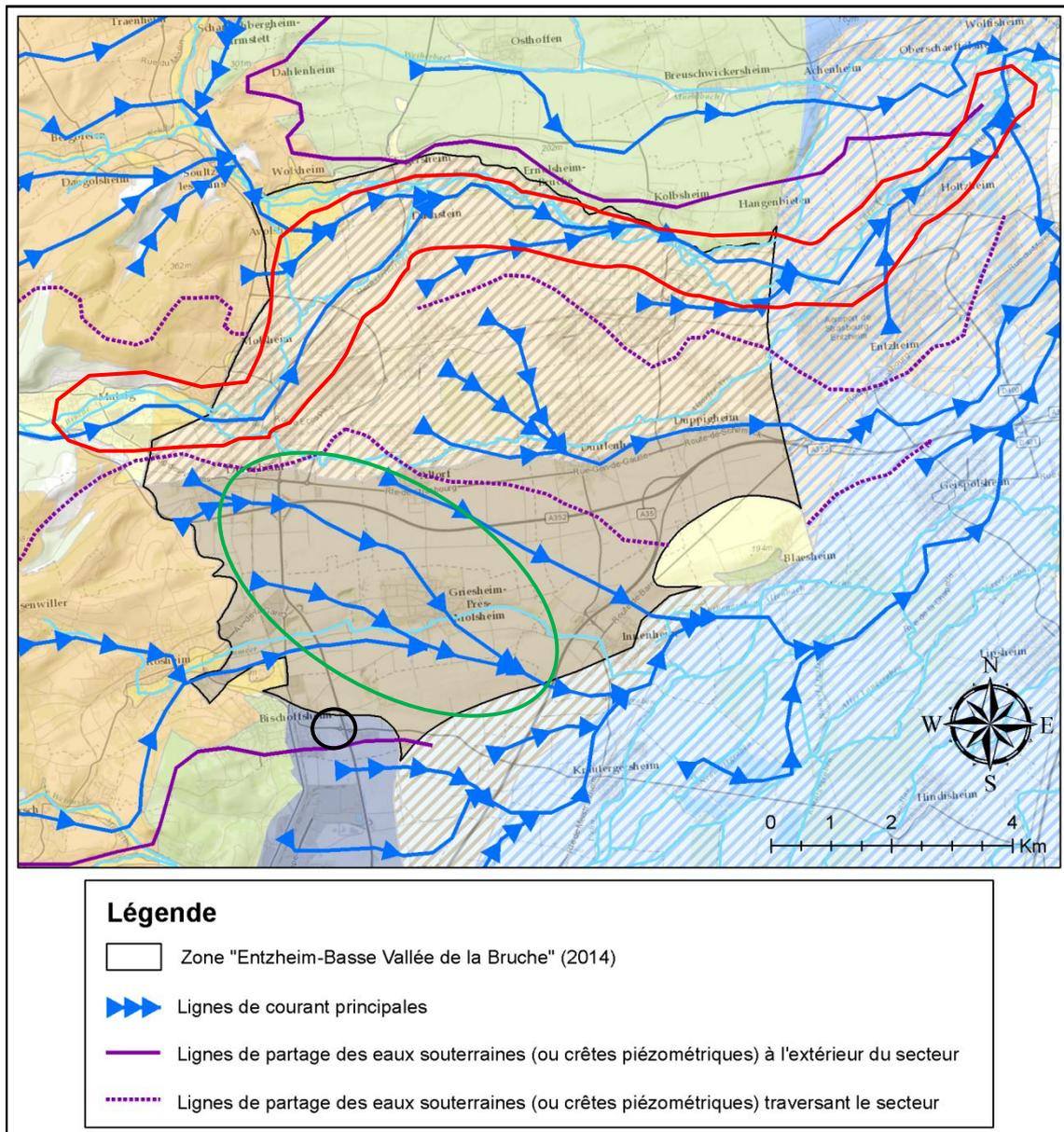


Illustration 66 : Localisation des lignes de courant principales et des lignes de partage des eaux souterraines – Entzheim-Basse vallée de la Bruche

En limite Sud, les lignes de courant qui affluent de la zone de bordure sont captées par un drain souterrain principal suivant plus ou moins l'Ehn, de direction Nord-Est. Les écoulements contournent ainsi le horst du Gloeckelsberg par le Sud. Ce changement de direction correspond à la limite d'apparition des alluvions récentes d'origine rhénane et aux écoulements souterrains induits par les autres hydrosystèmes localisés plus au Sud.

L'ouvrage 02718X0003/285D est situé au Nord de la ligne de partage des eaux supposée au niveau de Bischoffsheim, à l'extrémité Sud-Ouest de la zone (cercle noir - Illustration 66). Les écoulements supposés de la nappe captée par cet ouvrage prendraient donc une direction Nord-Est puis Est (vers la paléovallée de la Bruche). Cette hypothèse du maintien des niveaux

de la nappe plus en aval par des apports provenant de la zone au sein de laquelle se trouve ce forage, semble confirmée par l'étude des chroniques piézométriques du point et de ces voisins dans le chapitre 5.4.2 (Horst de Griesheim et Limite Sud de la zone).

La comparaison au droit de la zone d'étude des bassins versants souterrains avec les bassins versants de surface des cours d'eau issus de la BD Carthage 2012, permet de cibler certaines zones remarquables qui participent, par infiltration et/ou ruissellement en surface, à son alimentation (cf. Illustration 67). Les secteurs où les limites des deux types de bassin ne coïncident pas sont ainsi mis en évidence.

La zone décrite précédemment au sein de laquelle se trouve le forage 02718X0003/285D est également mise en exergue sur cette carte (zone n°1, en hachurés verts) puisque, faisant partie du bassin versant de surface de l'Ehn, les eaux de ruissellement s'écoulent plutôt en direction Sud-Est. Il n'en reste pas moins que l'influence de l'Ehn sur les écoulements souterrains se fait nettement ressentir par la suite.

Le secteur hachuré en rouge, en limite Nord de la zone d'étude, est quant à lui situé à l'intérieur du bassin versant de surface de la Bruche et, de ce fait, les eaux de ruissellement s'écoulent en direction du cours d'eau. A l'inverse, d'après les travaux de délimitation des bassins versants souterrains, il semblerait que les eaux qui s'infiltrent dans ces terrains ne participent pas à l'alimentation de la nappe alluviale de la Bruche mais s'écouleraient plutôt vers le Nord-Est, en direction du ruisseau le Muhlbach. Cette affirmation reste néanmoins très discutable car la quantité d'ouvrage documenté dans ce secteur étant quasi nulle, le degré d'incertitude sur le tracé du bassin versant souterrain est par conséquent très élevé. Par ailleurs, cette zone, constituée de formations marneuses oligocènes très peu perméables recouvertes de plusieurs mètres de lœss, semble nettement plus favorable au ruissellement.

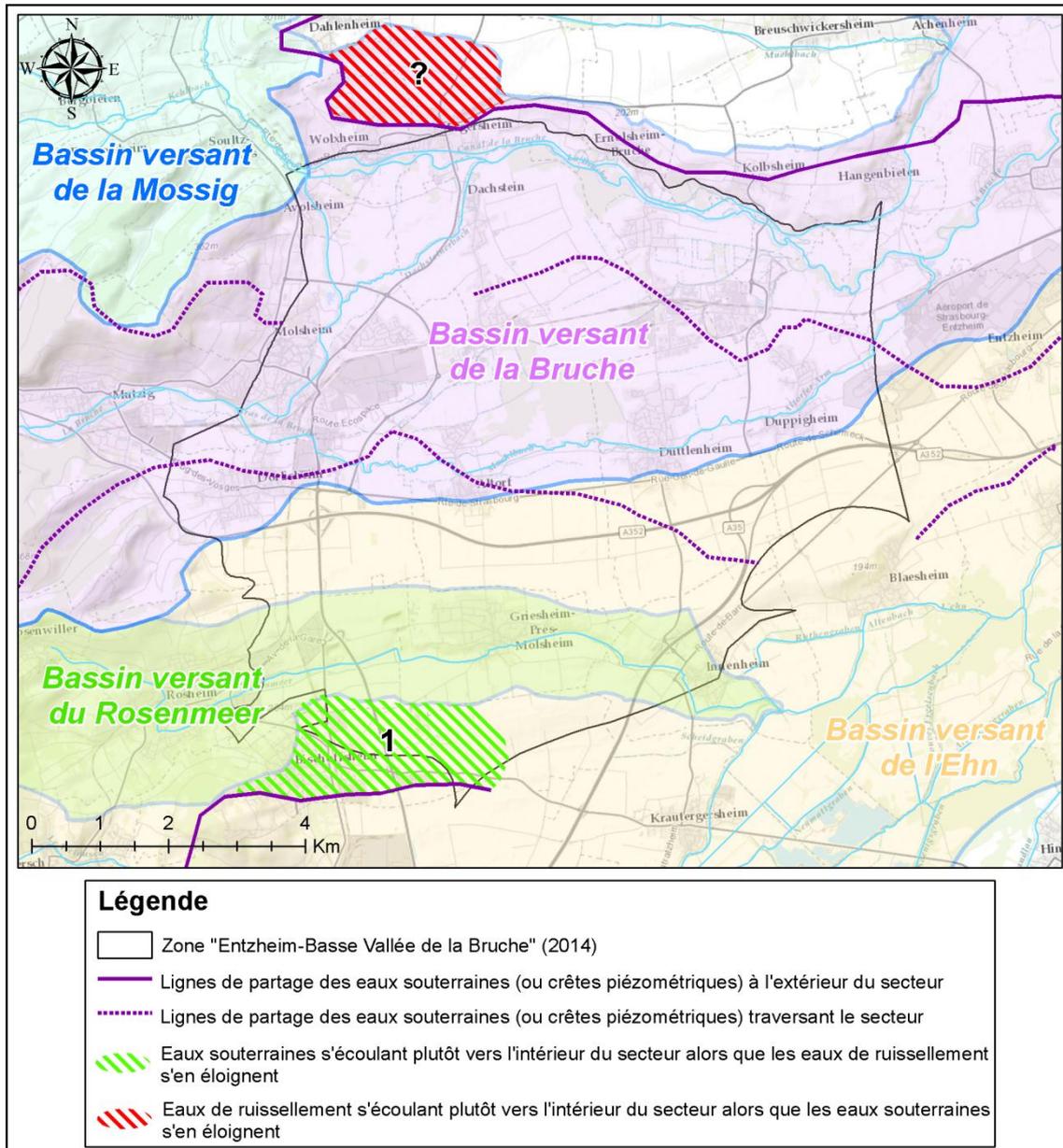


Illustration 67 : Comparaison des bassins versants souterrains et de surface – zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »

Les gradients hydrauliques, estimés à partir des chroniques piézométriques détaillées dans le chapitre 5.4.2, sont de l'ordre de 3 à 4‰ au niveau du Bras d'Altorf et de 5 et 7‰ au niveau des forages localisé au sein du horst de Griesheim. Un gradient hydraulique du même ordre (5‰) avait été estimé par Daessle (1979) au niveau de la zone industrielle d'Ernolsheim sur Bruche.

5.3.4. Relations nappe-rivière et inter-nappes

Les travaux de Brugeron *et al.* (2012) sur la caractérisation des échanges nappes/rivière sur certains ouvrages de la banque ADES ont permis d'établir une relation très forte entre la Bruche et la nappe captée au droit de l'ouvrage 02714X0050/240B de Dachstein. La nappe alimenterait le cours d'eau, ce qui confirme les hypothèses émises dans le chapitre précédent sur ce secteur, dans la moitié Nord du fossé de la Bruche.

Ces travaux ont également établi une relation forte entre la nappe captée au droit de l'ouvrage 02714X0219/PZ et le Bras d'Altorf. Cette fois-ci, la nappe drainerait le cours d'eau. Néanmoins, les résultats obtenus pour ce point d'eau sont très discutables, d'autant plus que la présente étude a montré que la nappe captée par le piézomètre 02721X0048/287, situé à proximité, drainerait plutôt la Bruche plus en amont (cf. chapitre 5.4.2) et que l'influence du Bras d'Altorf sur la nappe des alluvions vosgiennes semble finalement peu évidente (cf. chapitre 5.3.3).

Enfin, ces travaux nationaux ont permis d'établir l'absence de relation entre la nappe captée par le piézomètre 02718X0005/G1 et le cours d'eau Rosenmeer, la cote piézométrique maximum mesurée sur ce forage étant située environ à 15m en-dessous de la cote du lit du cours d'eau. Là encore, la Bruche semble jouer un rôle d'alimentation de la nappe (cf. chapitre 5.4.2), même si elle ne constitue qu'une partie des apports venants à la nappe.

Il ne semble pas y avoir de lien direct entre la nappe contenue dans les alluvions holocènes à würmiennes peu épaisses présentes au sein du fossé de la Bruche et les alluvions anciennes plus épaisses de la Bruche, au niveau du horst de Griesheim. La première voit ses écoulements fortement influencés par (et en direction de) la Bruche alors que la deuxième s'en écarte en suivant le chenal creusé par son ancien lit. Ces deux nappes « vosgiennes » ont néanmoins pour finalité de se jeter en direction de la nappe contenue dans les alluvions rhénanes, de direction Nord-Est.

5.4. VALORISATION DES INFORMATIONS PONCTUELLES DANS LE SECTEUR

D'une manière générale, les eaux souterraines du secteur sont principalement captées dans la partie amont de la zone de bordure, du côté de Molsheim, Dachstein, Altorf et Griesheim-près-Molsheim. A l'exception du secteur du Horst de Griesheim, ces ouvrages sont majoritairement peu profonds (de quelques mètres à maximum 15-20 m) et captent les eaux contenues dans les alluvions rencontrées les plus récentes.

Les ouvrages destinés à l'AEP sont localisés à Altorf et Griesheim-près-Molsheim et captent la nappe des alluvions rissiennes à mindeliennes de la Bruche.

Le maillage des qualitomètres est assez fin, particulièrement dans la moitié amont de la zone de bordure, avec une concentration logiquement très importante au niveau de la décharge de Dorlisheim et des zones d'activités industrielles et commerciales de Molsheim, Dachstein-gare et Ernolsheim-sur-Bruche.

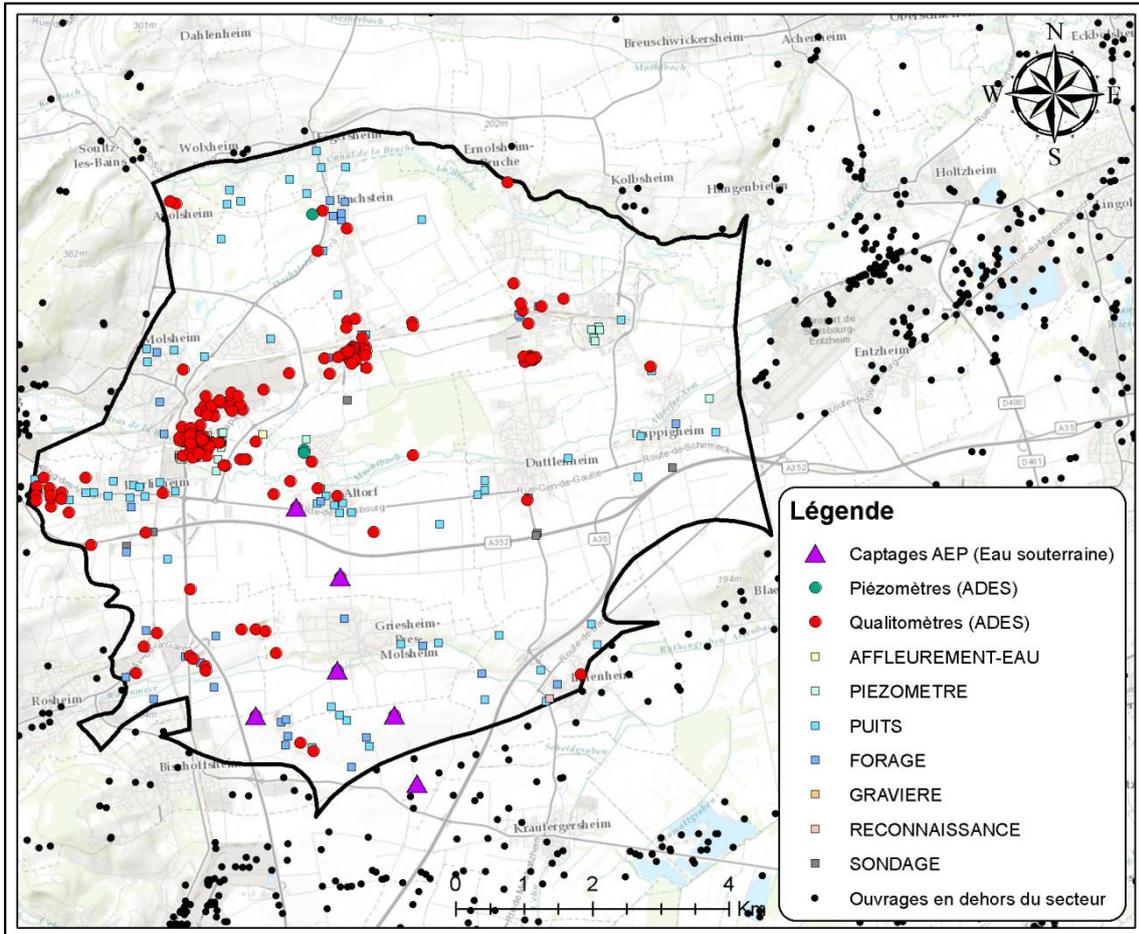


Illustration 68 : Localisation des captages AEP, qualitomètres & piézomètres ADES et autres ouvrages répertoriés dans la BSS EAU dans ou à proximité de la zone de bordure « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »

A noter que dans cette carte, aucune distinction n'est faite entre les captages AEP abandonnés et ceux qui sont toujours actifs.

5.4.1. Captages AEP

La production d'eau de la Communauté de Communes de Molsheim et Environs se fait par l'intermédiaire de 12 puits. Parmi ces puits, seuls 4 sont réellement situés à l'intérieur du secteur d'étude ; il s'agit des puits de Griesheim-près-Molsheim et d'Altorf.

localisation	dénomination	type de ressource	indice national	traitement	capacité installée m ³ /h
Mutzig	Stierkopf puits 1	forage	271-4-60	chloration	67
Mutzig	Stierkopf puits 2	forage	271-4-59	néant	13
Mutzig	Stierkopf puits 3	forage	271-4-61	chloration	105
Mutzig	Stierkopf puits 4	forage	271-3-4	néant	20
Mutzig	Stierkopf puits 5	forage	271-4-58	chloration	46
Griesheim	puits 2	forage	271-8-2	néant	(90) puits à l'arrêt
Griesheim	puits 3	forage	271-8-1	néant	150
Altorf	puits 1	forage	271-4-2	neutralisation	(27) puits à l'arrêt
Altorf	puits 2	forage	271-4-101	neutralisation + chloration	120
Gresswiller secteur Gresswiller-Dinsheim	puits	forage	271-3-86	néant	94
Gresswiller secteur Molsheim	puits	forage	271-3-86	néant	190
Still	Source Wolfzang	Source	271-2-5	UV	5,5
Still	Source Bruchsatt	Source	271-2-5	UV	15,8
capacité totale de production					826 m³/h ou 19 824 m³/j

Illustration 69 : Caractéristiques des ouvrages AEP alimentant la Communauté de Communes de Molsheim-Mutzig (SDEA, 2014)

Sur les 4 forages AEP de Griesheim et d'Altorf, seuls deux sont actuellement en fonctionnement et peuvent produire simultanément un débit horaire de 270 m³/h (SDEA, 2014).

Les forages de Griesheim, tous deux réalisés en 1964, captent la nappe des alluvions anciennes (rissiennes voire mindeliennes) de la Bruche sur toute sa puissance, soit 56 m pour 02718X0001/G3 et 40 m pour 02718X0002/PM0. Pour ce dernier, un écran de près de 14 m de couverture lœssique a d'abord été traversé.

A noter que l'ouvrage 02718X0001/G3, situé à l'extérieur de la zone d'étude (terrasse de Valff), aurait d'abord rencontré quelques mètres d'alluvions rhénanes récentes sous une couverture lœssique de 12 m d'épaisseur avant de traverser les alluvions rissiennes de la Bruche.

Le forage 02718X0005/G1, réalisé quelques années auparavant en bordure du cours d'eau Rosenmeer et initialement destiné à l'AEP, est profond de 54 m et capte cette même nappe (Simler, 1961). Depuis 2003, cet ouvrage fait partie du réseau de suivi piézométrique (cf. chapitre suivant).

Les deux forages d'Altorf sont les ouvrages 02714X0002/F et 02714X0101/F. Réalisé en 1961, le premier cité, situé à moins de 500 m au Sud du Bras d'Altorf, capte la nappe des alluvions anciennes de la Bruche sur près de 30m (Simler, 1961). Le second ouvrage, réalisé en 1985 plus en amont, entre Altorf et Griesheim-près-Molsheim, a d'abord traversé près de 10m de lœss avant de traverser toute la puissance des alluvions anciennes de la Bruche (près de 52 m) pour enfin atteindre le substratum marneux oligocène à 72m de profondeur.

5.4.2. Piézomètres (ADES et hors ADES)

Dans la zone d'étude, 4 piézomètres sont répertoriés comme faisant partie du réseau de suivi piézométrique des eaux souterraines de la région Alsace géré par l'APRONA (cf. Illustration 70) :

- le puits 02714X0050/240B à Dachstein, au lieu-dit Jardin Riehl, très peu profond (2,7m), capte la nappe sub-affleurante des alluvions holocène de la Bruche, en relation très forte avec les cours d'eau avoisinants (Mossig, Bruche et Dachsteinbach) ;
- le piézomètre 02714X0048/287, réalisé en 1967, a été rebouché et remplacé en 2003 par le piézomètre 02714X0219/PZ. Malgré l'absence de coupe géologique pour ces deux ouvrages, peu profonds par ailleurs (respectivement 4,9m et 6,7m), il semble logique de les associer au cône alluvial würmien de la Bruche ;
- l'ancien captage AEP 02718X0005/G1 capte quant à lui l'épaisse tranche alluvionnaire associée au cône de déjection mindelien à rissien de la Bruche, sans pour autant en atteindre le substratum marneux.

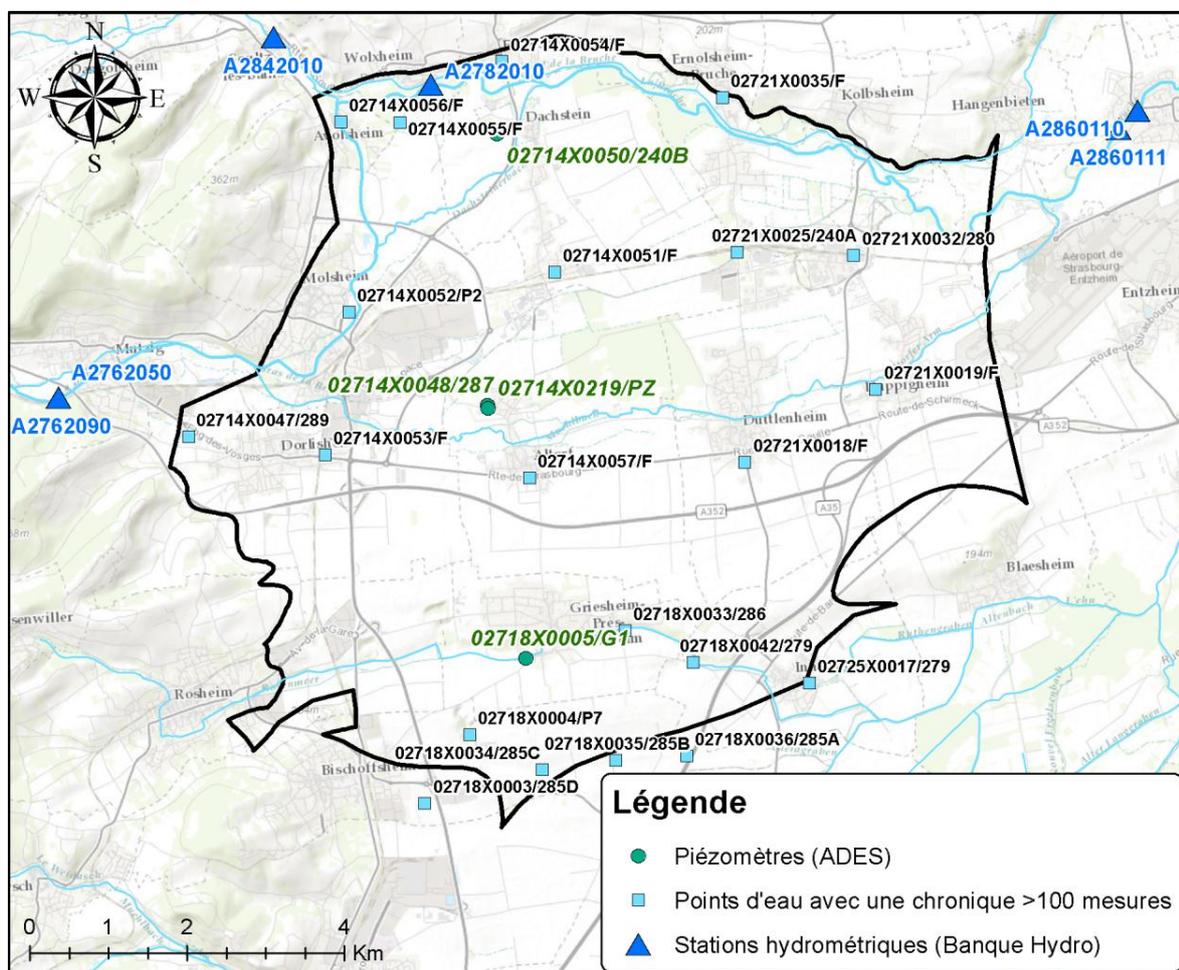


Illustration 70 : Localisation des piézomètres ADES et hors ADES et des stations de mesure hydrométriques référencées dans la Banque Hydro – zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »

Les 19 autres points d'eau situés à l'intérieur de (ou limitrophe à) la zone d'étude représentés sur l'illustration 70 ont également fait l'objet, dans une période de temps plus ou moins restreinte, d'un suivi de leur niveau piézométrique. Une grande partie de ce suivi fut menée fin des années 1960 jusqu'au milieu des années 1970. D'autres possèdent une chronique suffisamment longue pour permettre une sectorisation de la zone en fonction des signaux piézométriques enregistrés.

Trois stations hydrométriques sont présentes à l'intérieur ou en amont immédiat de la zone d'étude, possédant une chronique de mesure de débit suffisamment longue, à savoir :

- la station A2762090 « La Bruche Totale à Mutzig », située sur la Bruche, en amont du cône de déjection ;
- la station A2842010 « La Mossig à Soultz-les-Bains », située sur la Mossig, en amont de la confluence Mossig/Bruche ;
- la station A2782010 « La Bruche à Wolxheim », située sur la Bruche, en aval de la confluence Mossig/Bruche.

Fossé de la Bruche

L'ouvrage le plus intéressant dans ce secteur est le piézomètre 02714X0050/240B, localisé à Dachstein, à proximité de la confluence Bruche/Mossig et suivi depuis 1977. Il capte la nappe très peu profonde contenue dans les alluvions holocène et würmiennes de la Bruche et présente une chronique piézométrique à cyclicité annuelle marquée, avec une période de basses eaux de juillet à septembre et une période de hautes eaux de décembre à février, pour une amplitude annuelle constante d'un peu plus d'un mètre.

Ce comportement purement saisonnier est très fortement corrélé avec les chroniques de débits enregistrées dans les trois stations hydrométriques installées sur la Bruche et la Mossig et de façon presque synchrone (cf. Illustration 71), ce qui rend compte indirectement d'une réaction rapide de la nappe en réponse aux précipitations.

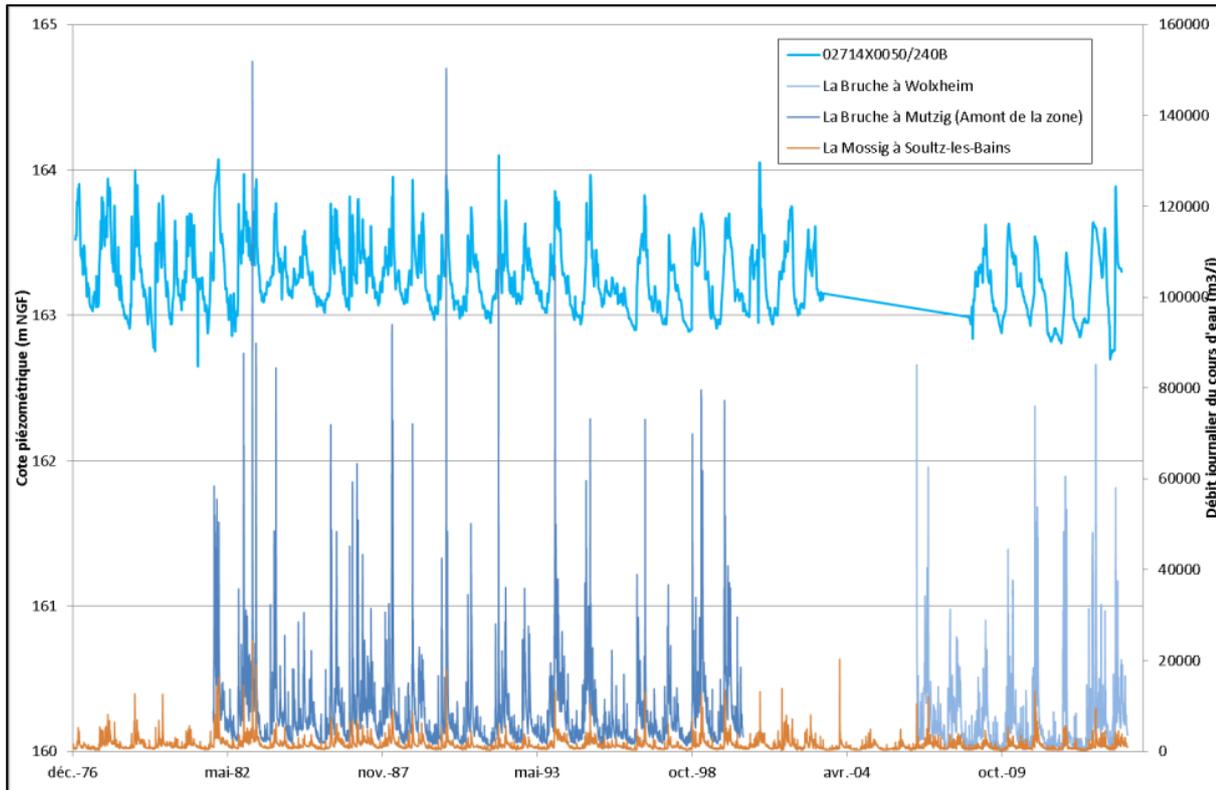


Illustration 71 : Comparaison de la chronique du piézomètre 02714X0050/240B avec les chroniques de débits journaliers enregistrés par les stations hydrométriques de la Bruche à Mutzig et à Wolxheim et de la Mossig à Soultz-les-Bains

Les autres ouvrages issus de la BSS EAU ne permettent pas d'apporter d'autres informations, du fait de chroniques piézométriques trop courtes.

Le long du Bras d'Altorf

Plusieurs forages localisés dans la partie médiane de la zone d'étude présentent des chroniques piézométriques relativement longues.

L'ouvrage le plus en amont est le forage 02714X0047/289, situé à Dorlisheim. Ce forage, suivi jusqu'en 1976, est associé à tort aux Grès du Trias. De par sa très faible profondeur et sa localisation, il semble plus probable qu'il capte la nappe d'accompagnement de la Bruche. Sa cote piézométrique moyenne de 184m NGF est d'ailleurs très proche de la cote du lit de la Bruche, dont un méandre est situé à moins d'1km plus au Nord (cf. Illustration 72).

A un peu moins de 4km en aval, en bordure du Bras d'Altorf, on trouve les piézomètres 02721X0219/PZ et 02721X0048/287. Ce dernier possède la chronique la plus longue et propose un signal à cyclicité annuelle assez marqué alors que son voisin présente une chronique plus difficile à interpréter (et probablement perturbé par des facteurs extérieurs d'origine anthropique ?).

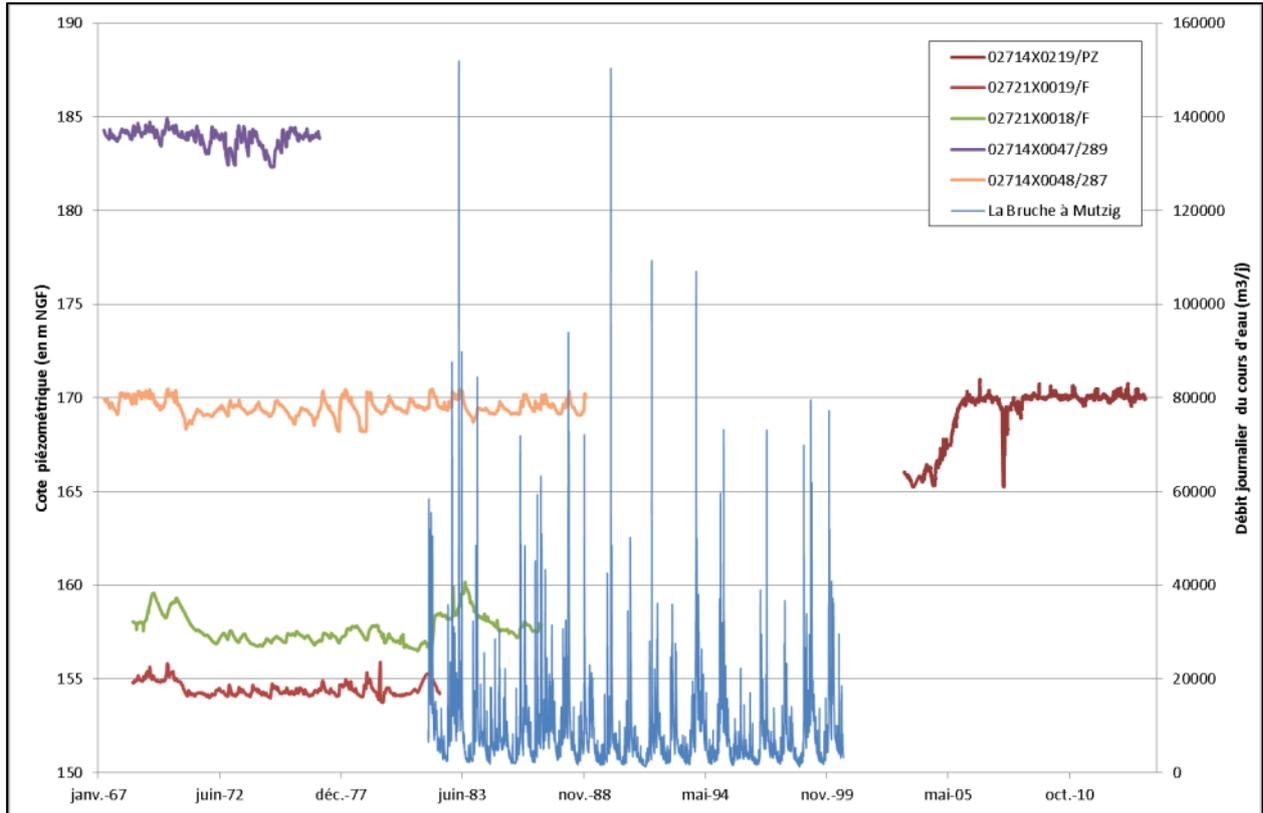


Illustration 72 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages situés le long du Bras d'Altorf avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig

Encore plus en aval, les ouvrages 02721X0018/F, situé à Duttlenheim et 02721X0019/F, situé à Duppigheim, présentent tous deux des chroniques piézométriques très similaires, signe que la nappe captée est la même pour les deux ouvrages. Ce qui semble différencier ces deux ouvrages par rapport à ceux situés plus en amont est la présence de deux grands pics piézométriques en hautes eaux 1970 et 1983 et d'un signal par ailleurs plus inertiel entre ces deux événements. Malgré l'insuffisance de la période de suivi, l'hypothèse de la présence d'une alimentation complémentaire au cours d'eau, plus diffuse et moins soumise aux conditions météorologiques de surface, est à prendre en considération.

La comparaison des signaux piézométriques de la nappe captée par les ouvrages 02721X0048/287 et 02721X0018/F avec les débits journaliers de la Bruche en amont, dans la période concomitante (1981 à 1988) est proposée en Illustration 73 ci-dessous.

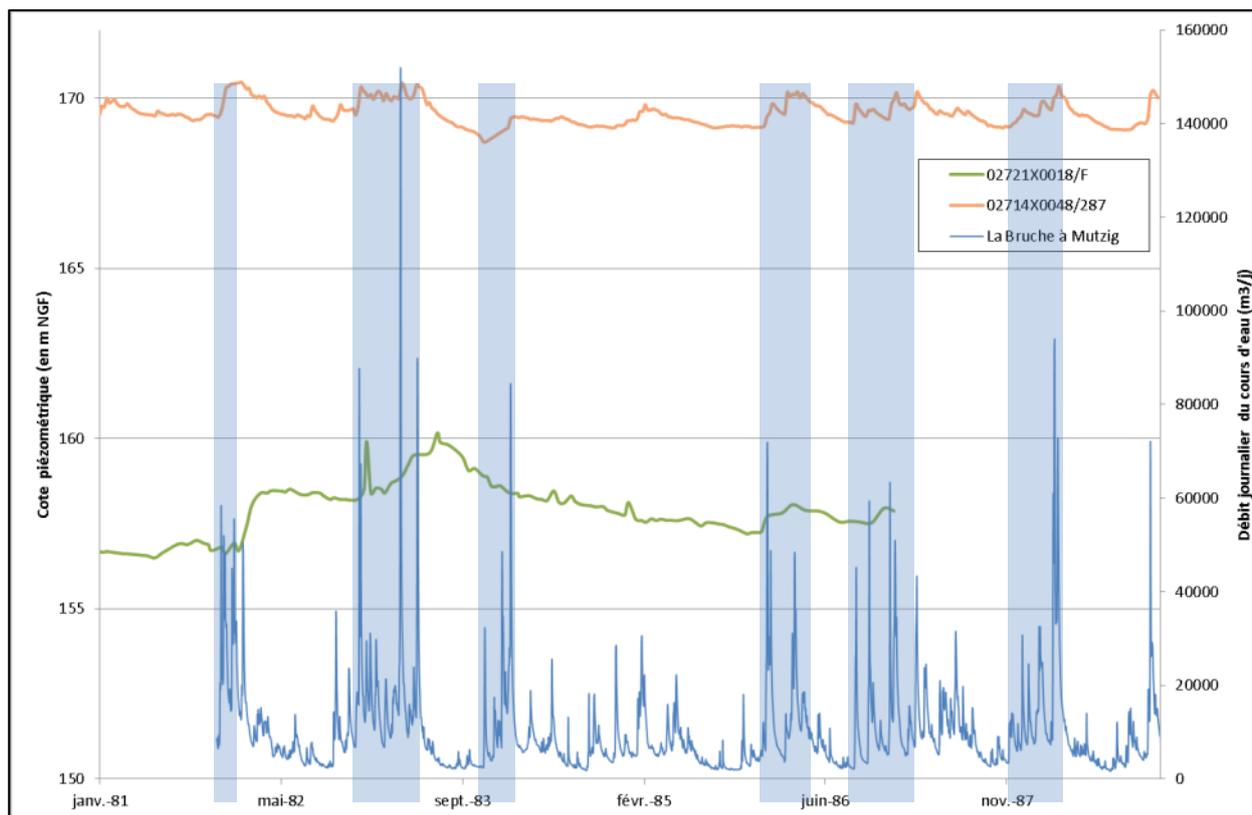


Illustration 73 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages 02721X0048/287 et 02721X0018/F avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig (période 1981-1988)

Ce graphique montre clairement que la Bruche et l'ouvrage 02714X0048/287 à Altorf présentent des signaux bien corrélés. En effet, lorsque le cours d'eau atteint ses débits maximums (zone bleue de l'illustration), la cote de la nappe captée par l'ouvrage augmente quasi-simultanément alors qu'en période d'étiage, la nappe réactive voit ses niveaux diminuer progressivement.

Plus en aval, la nappe captée par l'ouvrage 02721X0018/F se caractérise par une réponse décalée en réaction à l'augmentation des débits de la Bruche (de l'ordre de 2 mois environ) mais surtout par un comportement assez cumulatif qui fait que les variations du niveau piézométrique ne coïncident pas forcément avec les variations du débit des cours d'eau (par exemple, les périodes d'étiage estivales en 1982, 1985 et 1986 ou hautes eaux 1983 et 1984). Cela semble confirmer l'hypothèse du maintien du niveau de la nappe du fait d'un apport complémentaire plus diffus (à condition que les prélèvements soient constants dans les forages alentours). Cette caractéristique est encore plus marquée pour les ouvrages profonds situés au niveau du Horst de Griesheim.

Horst de Griesheim et Limite Sud de la Zone

Plusieurs ouvrages avec des chroniques supérieures à 10 ans sont localisés dans cette zone, à proximité des forages profonds destinés à l'AEP décrits dans le chapitre précédent. La majorité d'entre eux a fait l'objet d'un suivi continu entre 1968 et 1988 (cf. Illustration 74).

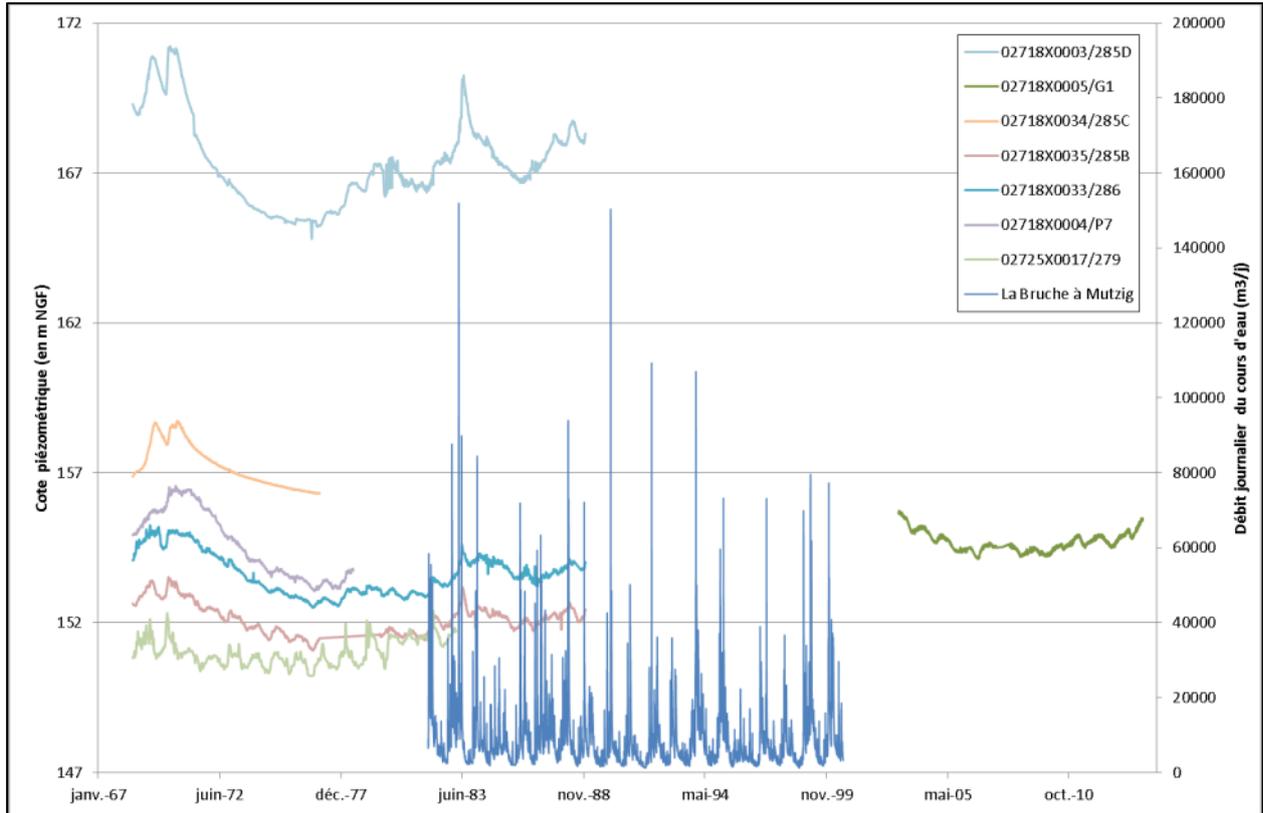


Illustration 74 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages du horst de Griesheim avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig

Dans cette zone, le seul ouvrage encore actuellement suivi est l'ancien captage AEP 02718X0005/G1 désormais destiné à la surveillance piézométrique DCE.

Un premier lot de forages présente des signaux piézométriques à forte inertie, avec une cyclicité quasi exclusivement pluriannuelle. Il s'agit des ouvrages 02718X0034/285C, 02718X0004/P7 et 02718X0003/285D, ce dernier étant localisé à l'extérieur de la zone d'étude. Ces trois ouvrages sont les plus proches des collines sous-vosgiennes et sont d'ailleurs localisés dans la partie Ouest de la paléovallée de la Bruche.

Un peu plus à l'Est, les ouvrages 02718X0033/286, 02718X0035/285B et 02718X0005/G1 se caractérisent également par des signaux inertiels comparables, qui s'accompagnent néanmoins d'une cyclicité annuelle non négligeable, confirmée par les travaux de Brugeron *et al.* (2012) pour les deux derniers.

Enfin, l'ouvrage 02725X0017/279, situé à Innenheim en bordure de la zone présente quant à lui un signal à cyclicité annuelle prépondérante. Ses caractéristiques (très peu profond et proche du Rosenmeer) laissent à penser à une relation forte avec ce cours d'eau.

L'examen en détail de la période 1981 à 1988, période pour laquelle des suivis de la piézométrie et des débits de la Bruche ont été réalisés conjointement (cf. Illustration 75), semble mettre en évidence la réponse de la nappe à une augmentation progressive et durable des débits de la Bruche (zones bleutées sur l'illustration), témoignant indirectement d'une réaction de la nappe à des événements en surface.

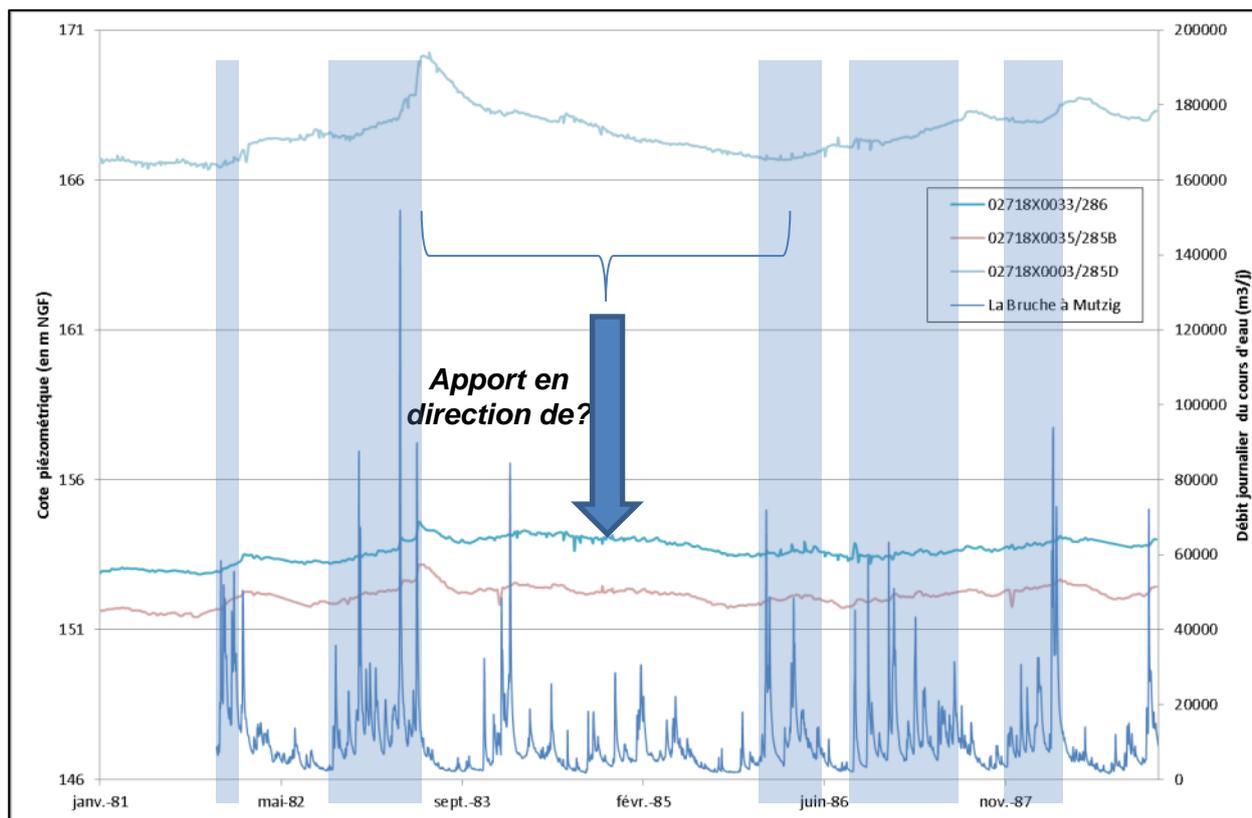


Illustration 75 : Comparaison des chroniques piézométriques des forages 02718X0033/286, 02718X0035/285C et 02718X0003/285D avec la chronique de débits journaliers enregistrés par la station hydrométrique de la Bruche à Mutzig (période 1981-1988)

Néanmoins, les signaux enregistrés restent très inertiels. Il semble ainsi que les deux ouvrages localisés plus en aval, capte une nappe dont les niveaux sont maintenus par des apports complémentaires profonds. Il faut rappeler que cette zone se caractérise par la présence d'une épaisseur très importante d'alluvions aquifères rissiennes à mindeliennes de la Bruche (jusqu'à 70m), ce qui accroît son caractère capacitif et favorise ainsi très probablement une moindre dépendance de la nappe à cet endroit vis-à-vis des conditions extérieures.

Une autre hypothèse peut également consister à dire qu'une part des eaux captées par l'ouvrage 02718X003/285D qui est le plus proche des collines sous-vosgiennes, s'écoulant en direction Est, participe au maintien du niveau de la nappe captée plus en aval lors des périodes moins pluvieuses. En effet, durant la période 1983 à 1986, la nappe captée par cet ouvrage se vidange progressivement sans être impactée par les conditions extérieures alors que les deux ouvrages situés plus en aval voient leur niveau maintenus. Ce type de corrélation mériterait d'être vérifié sur des périodes de suivi plus longues.

5.4.3. Qualitomètres

Dans la zone de bordure, 191 points d'eau sont recensés comme qualitomètres dans la banque ADES (cf. Illustration 76). Parmi ces points d'eau :

- 26 d'entre eux sont associés au réseau pour les « inventaires de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan en plaine d'Alsace » (réseau n°0200000015) ;

- 168 appartiennent au « réseau qualitatif des eaux souterraines pour le suivi des installations classées pour la région Alsace (ICSP) » (réseau n°0200000036), concentrés principalement au niveau des zones d'activités industrielles du secteur ;
- 8 appartiennent au « réseau national de suivi au titre du contrôle sanitaire sur les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable » (réseau n°0000000028) ;
- 1 appartient au « Réseau national de suivi de la directive Nitrates pour les eaux souterraines » (réseau n°0000000078).

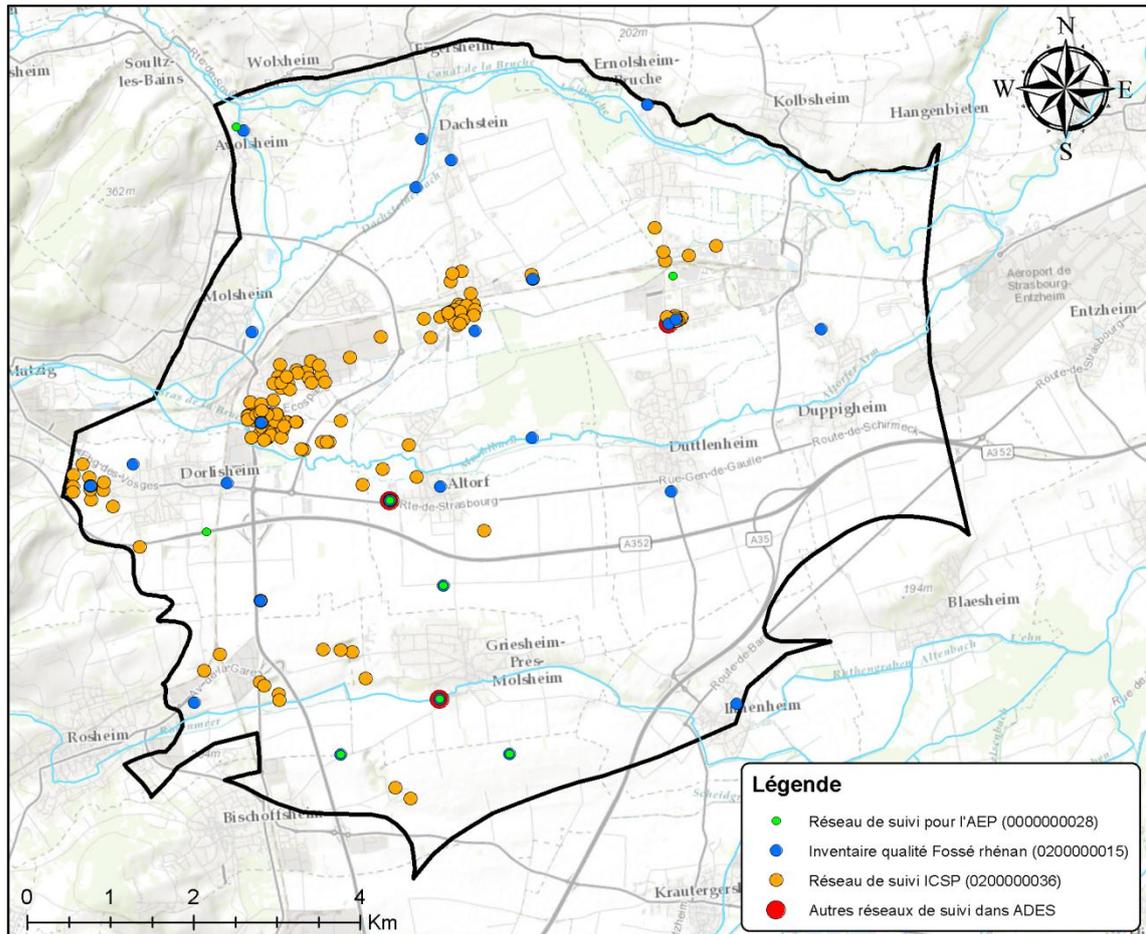


Illustration 76 : Localisation des qualitomètres ADES dans la zone de bordure « Entzheim-Basse vallée de la Bruche »

Fossé de la Bruche

Au niveau de la zone industrielle d'Ernolsheim-sur-Bruche, au Nord de Duttlenheim, des analyses menées en 1977 sur le forage Unisabi 02721X0079/F avaient montré des teneurs en Nitrates, Fer et Manganèse particulièrement élevées, ce qui renforçait l'hypothèse que cette nappe des alluvions de la Bruche, proche du sol, était particulièrement vulnérable si des pressions agricoles étaient exercées à la surface (Schwoerer, 1977). Il faut noter toutefois que l'ouvrage 02721X0087/P2, réalisé en 1979 à seulement 150m à l'ouest du précédent, a présenté également des teneurs excessives en Fer et Manganèse mais quasiment aucun nitrate (Daessle, 1979). De même, l'ouvrage 02721X0021/F, localisé au Sud de la zone industrielle et appartenant au réseau national de suivi de la directive Nitrates pour les eaux souterraines, capte une nappe pour laquelle les teneurs en nitrates sont assez nettement en-deçà de la limite de potabilité à 50 mg/l.

Pour une majorité des ouvrages localisé en moitié Nord du secteur, les teneurs en nitrates relevées dans les eaux souterraines et qui pouvaient être assez problématiques dans les années 90, ont sensiblement diminué et sont désormais acceptables au regard des normes de potabilité en vigueur. A titre d'exemple, les ouvrages 02714X0052/P2 de Molsheim, 02714X0056/F d'Avolsheim ou 02721X0075/F au Nord de Duppigheim présentaient des teneurs en nitrates respectives de 33 mg/l en 1983, 50 mg/l en 1991 et 77 mg/l en 1997. En 2009, ces trois ouvrages présentent des teneurs respectives de 2, 20 et 38 mg/l.

Encore une fois, la pollution phytosanitaire sur ce secteur est principalement liée à l'atrazine et son principal métabolite, la déséthylatrazine, même si, là encore, l'interdiction de cette substance en 2003 s'est traduite par une nette tendance à la baisse des concentrations mesurées (sauf sur l'ouvrage 02342X0030/508 situé à Kriegsheim). Les valeurs rencontrées dans les ouvrages 02714X0056/F ou 02721X0075/F ont par exemple été divisées respectivement par 10 et 3 entre 1997 et 2009. Les teneurs par substance sont devenues acceptables vis-à-vis de leur seuil de potabilité fixé à 0,1 µg/l.

A noter que l'ouvrage 02714X0148/F, localisé au sein de la ferme Jaegerhof, au Sud de Dachstein-gare, a fait seulement l'objet de deux campagnes de suivi en 1991 et 1997, avec des teneurs relevées en nitrates de 200 puis 150 mg/l. Il serait intéressant d'inclure ce puits de 9 m de profondeur dans des prochains inventaires qualité du fossé rhénan, afin de vérifier si cette apparente tendance à la baisse a perduré ou bien si cette pollution nitraté importante persiste.

Le long du Bras d'Altorf

La problématique majeure reste les nitrates même si les teneurs enregistrées en 2009 sont très clairement en baisse. Les plus fortes valeurs sont rencontrées le long des petites terrasses d'Altorf et de Duppigheim, sur les ouvrages 02721X0018/F et 02714X0147/F. Dans les années 90, ces deux ouvrages présentaient des valeurs dépassant les 150 mg/l. Le dernier inventaire a quant à lui montré des teneurs respectivement à 83 et 40 mg/l. Il sera intéressant de suivre l'évolution de ces dernières au cours des prochains inventaires qualité. Les concentrations en atrazine et ses métabolites sont également en nette baisse.

Entre Molsheim et Altorf, les valeurs en nitrates sont inférieures quoique toujours proches de la valeur seuil pour l'AEP. A titre d'exemple, l'ouvrage 02714X0023/F à Altorf présentait une teneur de 67 mg/l en 1991. Elle est passée à 40 mg/l en 2009. Les ouvrages plus à l'Ouest présentent des teneurs moyennes de l'ordre de 15 à 20 mg/l.

Le puits AEP 02714X0002/F d'Altorf est à l'arrêt depuis novembre 2005 suite à la pollution de la nappe phréatique par du tri et tétrachloroéthylène au niveau du site Messier-Bugatti (SDEA, 2014). Le Bromacil (herbicide) a également été détecté pour la première fois au niveau de ce puits au mois de mars 2009. Bien qu'il soit à l'arrêt, un programme renforcé a été mis en place afin de surveiller l'évolution du pesticide. Selon les mesures effectuées en 2012, les teneurs au droit de cet ouvrage ont varié entre 0,09 à 0,56 µg/l pour une limite de qualité fixée à 0,10 µg/l (SDEA, 2014). De même, l'eau distribuée à partir du puits 02714X0101/F d'Altorf est traitée (neutralisation + désinfection), de minéralisation peu accentuée, moyennement dure et de très bonne qualité bactériologique (cf. Illustration 77).

Seul l'ouvrage 02714X0175/P, situé à l'Ouest de Dorlisheim, a vu ses teneurs en nitrates augmenter (de 42 mg/l en 1997 à 98 mg/l en 2009). Il faut noter que cet ouvrage se localise au pied des collines lœssiques sous-vosgiennes, zone d'accumulation potentielle des nitrates issus des cultures en amont.

Horst de Griesheim et Limite Sud de la Zone

Au cours de l'exercice 2013, 28 analyses réglementaires ont été réalisées sur les champs captants de Griesheim-près-Molsheim et Altorf. Le tableau synthétique extrait du rapport de la SDEA est présenté ci-dessous.

point d'échantillonnage	propreté bactériologique	pH	TH °F	TAC °F	nitrites mg/l	chlorures mg/l	temp. °C
limites de qualité	**	6,5-9,5	*	*	< 50	< 250	< 25
puits 2 Griesheim	Très bonne	7,30	23,8	21,6	34,9	149,0	12,2
puits 3 Griesheim	Très bonne	7,30	35,9	25,6	36,4	30,3	12,1
traitement Puits 2 Altorf	Très bonne	8,00	18,0	14,5	18,0	28,2	13,0

* sans objet pour ces paramètres ** absence de germes indicateurs de contamination fécale

Illustration 77 : Tableau synthétique des analyses qualité réalisées sur les forages AEP des champs captants de Griesheim-près-Molsheim et d'Altorf (SDEA, 2014)

Selon la SDEA (2014), la teneur moyenne en nitrates des deux forages AEP de Griesheim reste inférieure à la limite de qualité fixée à 50 mg/l. Néanmoins :

- Le puits 2 de Griesheim (02718X0002/PM0) délivre une eau présentant des teneurs excessives en arsenic. Celui-ci fonctionne uniquement en mode maintenance, toujours en simultané avec le puits 3 (02718X0001/G3), afin de garantir des teneurs en arsenic en distribution inférieures à la limite de qualité fixée à 10 µg/l ;
- La présence de bromacil (herbicide) a également été détectée au niveau du puits 2 depuis septembre 2009. Un programme renforcé a été mis en place afin de surveiller l'évolution de ce paramètre. Les teneurs qui varient de 0,05 à 0,28 µg/l sont occasionnellement supérieures à la limite de qualité fixée à 0,10 µg/l. Celles-ci sont sans incidence sur la qualité de l'eau distribuée, en raison de la mise hors service du puits et des approvisionnements assurés par les autres puits. Les autres pesticides recherchés n'ont pas été détectés en 2013.

A 1km environ au Nord-Ouest de ce puits 2, une teneur à 14 µg/l de bromacil, soit plus de 100 fois supérieure à la norme, a été mesurée en 2009 dans la nappe captée par l'ancien forage AEP 02718X0005/G1 de Griesheim-près-Molsheim, en bordure du Rosenmeer (source : ADES). Il est indispensable de poursuivre la surveillance qualité de ce forage et, si ces fortes teneurs sont confirmées, de rechercher les causes pouvant expliquer cette pollution au bromacil.

Les teneurs en nitrates des qualimètres recensés au cœur de la paléovallée de la Bruche sont quant à elles relativement stables et toutes inférieures à la limite de 50 mg/l.

Au pied des collines sous-vosgiennes, et donc en bordure Ouest de l'axe de la paléovallée, les teneurs en nitrates dépassent généralement la limite des 50 mg/l. L'ouvrage 02714X0163/D3 au Sud-Ouest de Dorlisheim, suivi depuis 1998, a toujours présenté des valeurs supérieures à 70 mg/l. Plus au Sud, l'ouvrage 02718X0014/F, localisé au Sud-Est de Rosheim, présente une teneur moyenne en nitrates d'environ 53 mg/l.

5.5. OCCUPATIONS DU SOL ET PREMIERS ELEMENTS DE VULNERABILITE

5.5.1. Occupations du sol (Bd OCS CIGAL V2)

Les informations contenues dans la Base de données d'Occupation du Sol v2 confirment le fait que ce secteur a une vocation agricole importante, surtout dans sa moitié Sud (cf. Illustration 78). De même, les collines sous-vosgiennes qui le bordent à l'Ouest, paysage mi-boisé, mi-cultivé, sont le lieu d'une importante activité viticole (cercles violets sur l'Illustration 78) et arboricole (ADEUS, 2011) et l'habitat y est concentré en de pittoresques et bourgades.

Les cultures du blé et de maïs se pratiquent de manière assez homogène à l'intérieur de la zone d'étude. Le fossé de la Bruche, par ailleurs plus densément peuplé, se compose pour une bonne moitié de sa surface en prairies permanentes et temporaires.

Les autres pratiques agricoles recensées de la zone sont principalement localisées dans la moitié Sud, entre le Bras d'Altorf et la terrasse de Valff. Il s'agit de cultures de betteraves à sucre industrielle, de tabac et de quelques vergers traditionnels (DRAAF, 2014). De plus, en limite Sud, une monoculture spécialisée est recensée ; il s'agit du chou à choucroute, culture très localisée autour de la ville de Krautergersheim où se concentrent les plus grands producteurs de la région Alsace, à savoir 73 exploitations sur près de 500 hectares (DRAAF, 2014).

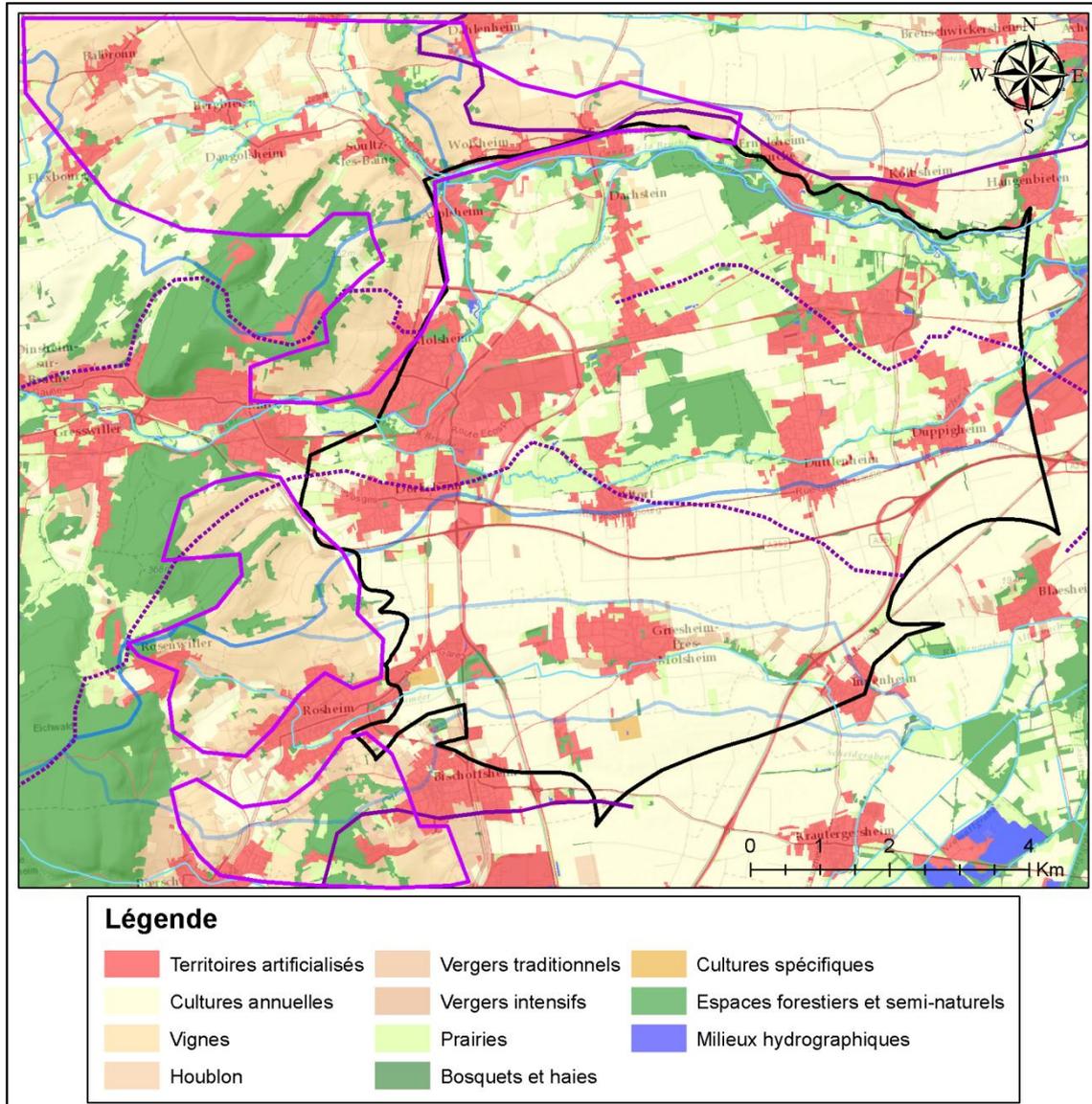


Illustration 78 : Occupation du sol sur la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » et en amont (source : Bd OCS CIGAL v2, années 2011-2012)

5.5.2. Comparaison épaisseur de Zone Non Saturée (ZNS) et IDPR

L'illustration 79 ci-dessous oppose les résultats du calcul de l'IDPR, permettant de différencier qualitativement les terrains favorisant le ruissellement de ceux favorisant l'infiltration, avec l'épaisseur moyenne de la zone non saturée, donnée déjà utilisée pour la détermination des bassins versants souterrains moyens ainsi que des drains souterrains principaux.

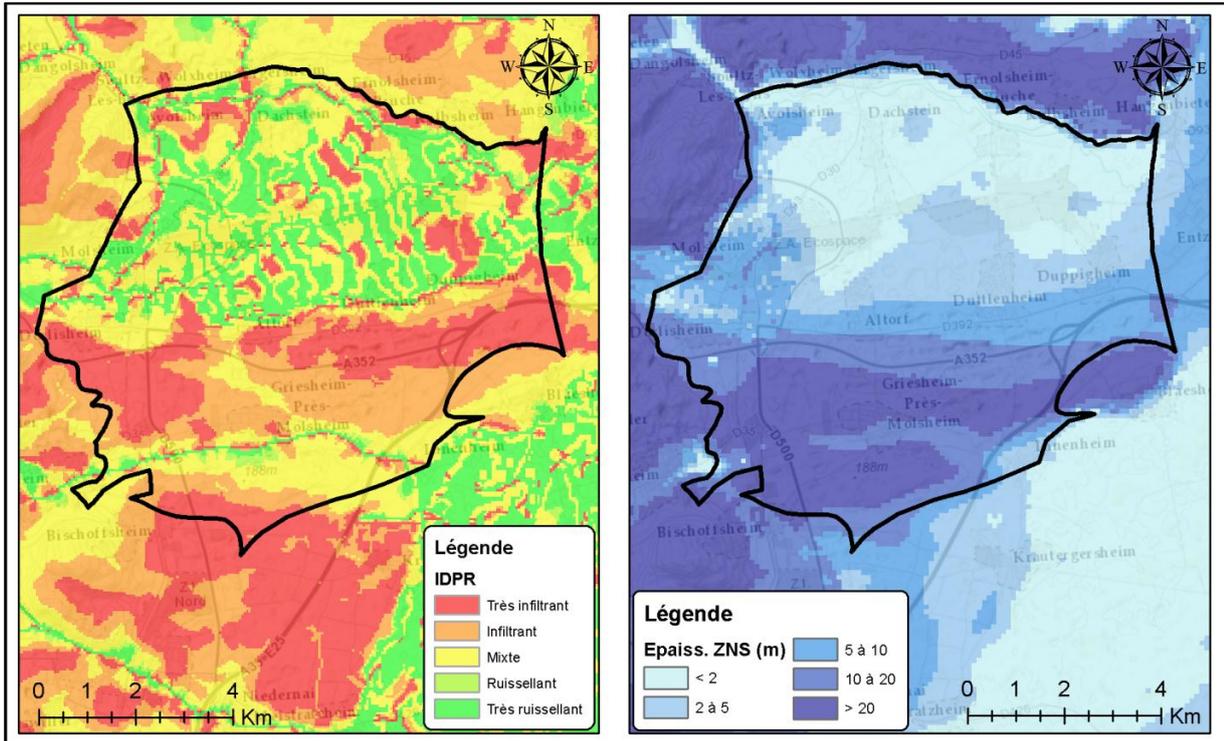


Illustration 79 : Comparaison IDPR et épaisseur de Zone Non Saturée – zone de « Entzheim-Basse Vallée de la Bruche »

Les deux indicateurs montrent que cette zone de bordure présente un contraste assez net entre ses moitiés Nord et Sud.

Le secteur entre la Bruche et le Bras d'Altorf, rempli par les alluvions récentes et affleurantes de la Bruche, se caractérise par une très faible épaisseur de ZNS. La nappe y est sub-affleurante pour une bonne partie. De même, ce secteur est globalement plus favorable au ruissellement de l'eau qu'à son infiltration, sauf en de rares zones vers Wolxheim ou Duppigheim. De ce fait, la très faible profondeur de la nappe, pouvant laisser supposer une vulnérabilité forte vis-à-vis de transferts d'éventuels polluants, semble contrebalancée par une propension du sol rencontré à cet endroit à faire ruisseler l'eau plutôt qu'à la laisser s'infiltrer. Le fait que la totalité des alluvions récentes soient saturées en eau et que le renouvellement du stock de la nappe se fasse de façon assez conséquente et constante via les apports, en amont, des précipitations, de la Bruche et de ses affluents, semble freiner l'infiltration d'eau dans les sols de ce secteur, par ailleurs considéré comme une prairie humide (Ried de la Bruche).

Cette configuration contraste fortement avec celle rencontrée en moitié Sud du secteur. En effet, les terrasses du Gloeckelsberg, d'Altorf et Duppigheim et de Valff en limite Sud se caractérisent toutes par une épaisseur de ZNS dépassant les 20m. A première vue, la configuration hydrogéologique spécifique de ce secteur, avec cette épaisse ZNS au sein des dépôts de loess recouvrant l'aquifère des alluvions anciennes de la Bruche, favoriserait le retardement du transfert d'éventuels polluants vers ce dernier. Cependant, les terrains affleurants montrent une très forte propension à laisser s'infiltrer l'eau. Et contrairement aux deux précédentes zones de bordure, les résultats de ce calcul IDPR sont assez homogènes sur l'ensemble de ce secteur.

5.5.3. Comparaison avec l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines du Fossé Rhénan – focus sur les nitrates (Région Alsace, 2012)

L'illustration 80 ci-dessous représente un zoom sur la zone « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » des résultats pour les nitrates 2009 de l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan (Région Alsace, 2012). Cette carte propose une sectorisation de cette zone où le fossé de la Bruche peut être considéré comme globalement moins problématique vis-à-vis des nitrates que la moitié Sud.

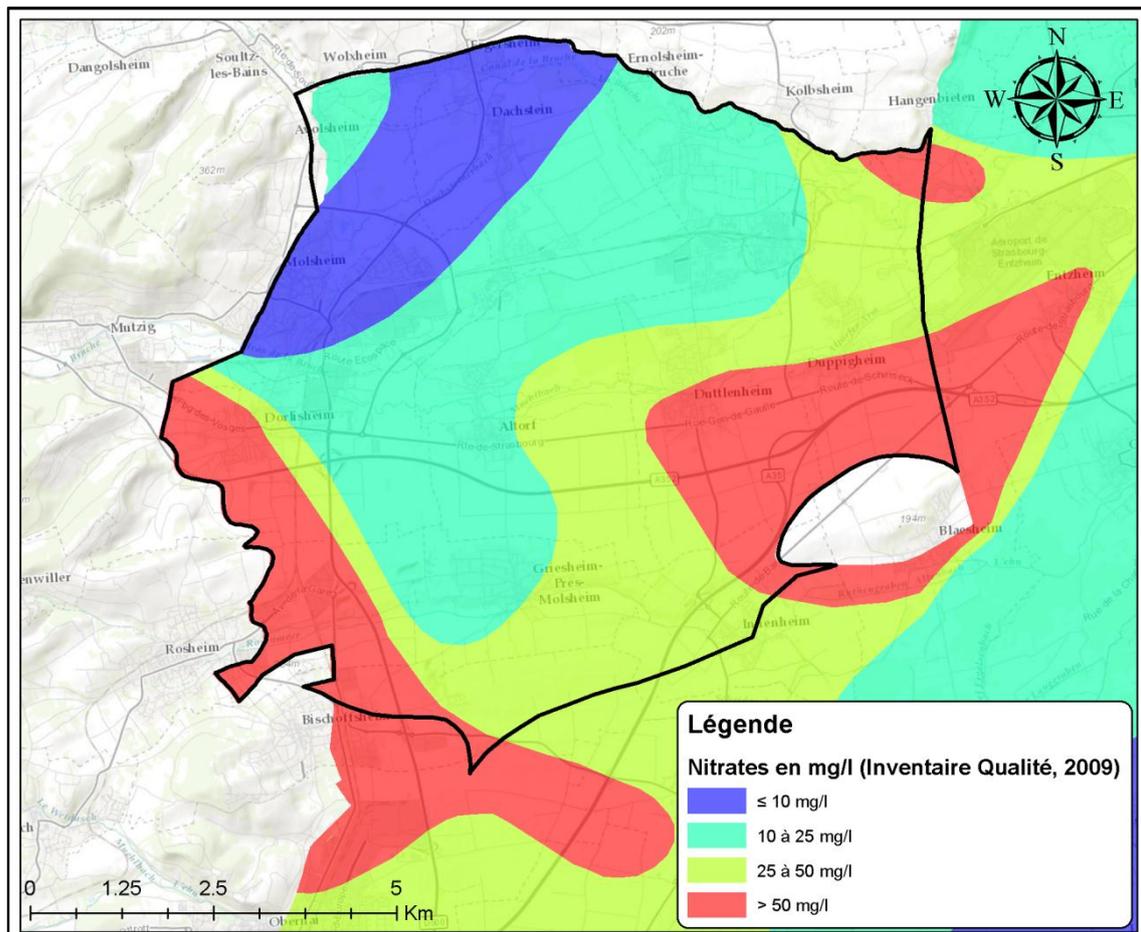


Illustration 80 : Carte des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines issues de l'Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé Rhénan – zone de « Entzheim-Basse vallée de la Bruche » (Région Alsace, 2012)

Une bande entre Molsheim et Dachstein est mise en évidence, où les teneurs en nitrates dans la nappe ne dépasseraient pas 10 mg/l. Il s'agit ici d'une zone où la nappe bénéficie effectivement d'un apport en eau de bonne qualité par les cours d'eau de la Bruche et de la Mossig. Toutefois, les conclusions sur cette interpolation doivent être nuancées. En effet, certains ouvrages problématiques dans les années 90 n'ont pas été ré-échantillonnés dans le cadre de cet inventaire, alors que des valeurs supérieures à 150 mg/l en nitrates avaient été mesurées à l'époque, notamment vers Dachstein-gare (cf. chapitre 5.4.3). A noter également que le chapitre 5.3.3 démontre par ailleurs que les lignes d'écoulements souterrains partant de Dachstein-gare prennent la direction des terrasses d'Altorf et de Duppigheim, pour lesquelles les teneurs en nitrates dépassent 50 mg/l en 2009.

Le fossé de la Bruche, dont les pratiques agricoles ne sont pas aussi intenses qu'au niveau du horst de Griesheim, semble néanmoins relativement épargné vis-à-vis de cette problématique nitrates.

A contrario, les valeurs mesurées dans la nappe contenue dans les alluvions anciennes de la Bruche sous couverture lœssique, au niveau du Horst de Griesheim, sont nettement plus élevées. Ces fortes valeurs sont plutôt en cohérence avec les conclusions des chapitres précédents qui ont montré que, sur ce secteur, des pratiques agricoles historiques, intenses et variées étaient menées sur des terrains plutôt très favorables à l'infiltration. La couverture lœssique semble jouer son rôle de retardateur vis-à-vis des temps de transfert des intrants agricoles non dégradés par les cultures en surface.

Les secteurs les plus problématiques sont la bordure Ouest, au pied des collines sous-vosgiennes ainsi qu'une zone concentrée autour du Gloeckelsberg. Entre les deux, le panache de valeurs comprises entre 10 et 25 mg/l coïncide assez bien avec les directions d'écoulement souterrain présentées dans le chapitre 5.3.3, le long de l'axe de la paléovallée de la Bruche. Ces plus faibles valeurs coïncident avec cette zone capacitive, à maxima d'accumulation alluviale de la Bruche, avec des épaisseurs dépassant les 60m.

5.6. BILAN SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES & PRECONISATIONS/RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LA CONNAISSANCE

Historiquement, la moitié Sud de la basse vallée de la Bruche constitue la partie du secteur la plus exploitée pour ses eaux souterraines, profitant d'un contexte hydrogéologique favorable avec une nappe contenue dans les alluvions mindeliennes à rissiennes déposées par le cours d'eau durant le Quaternaire. Le chenal de la paléovallée de la Bruche, de direction Nord-Ouest/Sud-Est et mis en évidence à cet endroit dès les années 1960, constitue une zone d'accumulation alluviale importante (dépassant les 60m) et capacitive, qui participe aux bonnes caractéristiques hydrodynamiques et qualitative de la nappe en son sein.

Une densité importante d'ouvrages est recensée en moitié Ouest de la zone de bordure, de Molsheim à Altorf et vers Griesheim-près-Molsheim, qui sont généralement bien documentés, notamment du fait de nombreux forages destinées à l'AEP. La densité faiblit sensiblement en aval, à l'Ouest et au Nord-Ouest, avec une épaisseur alluviale beaucoup moins importante et des ouvrages par conséquent souvent très peu profonds et captant une portion de nappe sensiblement moins productive.

La carte géologique au 1/50000^{ème} suppose l'existence de certaines failles sans qu'elles n'aient été réellement reconnues à ce jour, notamment la faille de la Bruche, celle délimitant la terrasse d'Altorf ou bien encore la faille de Duppigheim supposée du fait du resserrement des lignes de niveaux du toit du substratum marneux à cet endroit. Le tracé de la faille rhénane est quant à lui incertain car situé sous la couverture lœssique des versants Est des collines sous-vosgiennes. La réalisation de **plusieurs profils géophysiques à haute résolution**, localisés perpendiculairement à ces failles supposées permettraient de mieux appréhender le contexte structural de ce secteur, en confirmant (ou non) la présence de ces failles et la période à laquelle elles ont pu jouer. De même, plusieurs autres profils pourraient également être réalisés :

- perpendiculairement à l'axe principal de la paléovallée de la Bruche, dans l'objectif d'estimer au mieux l'épaisseur des alluvions anciennes de la Bruche à cet endroit ;

- perpendiculairement à l'axe principal de la paléovallée de la Mossig qui n'a pas été confirmée à l'issue des travaux menés dans le cadre de la BRAR sur la cartographie du toit du substratum en appui au programme franco-germano-suisse LIFE (Elsass, 1996).

Au sein du horst de Griesheim, seul un ouvrage est intégré au réseau de surveillance piézométrique DCE. Il s'agit de l'ancien captage AEP 02718X0005/G1 situé à Griesheim-près-Molsheim. L'hydrodynamisme particulier de la nappe en bordure Ouest du paléochenal de la Bruche n'est cependant pas véritablement bien appréhendé, alors qu'il avait fait l'objet d'un bon suivi avant les années 90. Pour ce faire, **intégrer un nouveau point de suivi piézométrique, entre Molsheim et Rosheim, au pied des collines sous-vosgiennes**, semblerait judicieux. Ceci permettrait éventuellement de travailler sur les hypothèses émises au niveau du point 02718X0003/285D, situé plus au Sud, sur le maintien du niveau de la nappe captée plus en aval lors des périodes moins pluvieuses

La couverture lœssique rissienne en moitié Sud de la zone de bordure semble assez homogène. Elle diffère des lœss würmiens carbonatés qui recouvrent les versants Est des collines sous-vosgiennes ainsi que des colluvions lœssiques, à dominante limono-argileuse, également observées au pied de ces collines. Connaissant la problématique de pollution nitratée observée sur ces secteurs lœssiques, il semble nécessaire d'améliorer les connaissances sur leurs caractéristiques en menant une **campagne de carottages dans ces lœss**, en plusieurs points des collines, qui seraient choisis de manière à intégrer toutes les configurations qui y sont rencontrées (colluvions, lœss plus ou moins carbonatés...). Sur les échantillons recueillis pourraient être réalisées des **mesures de leurs propriétés physico-chimiques et texturales** (porosité) ainsi qu'une **analyse graduée de certains polluants** (tous les 30 à 50 cm par exemple, ordre de grandeur de la distance annuelle parcourue verticalement par l'eau dans un lœss).

De manière générale, un travail d'**analyse de la chimie des eaux captées** par les ouvrages de la zone, surtout ceux au pied des collines sous-vosgiennes, semble nécessaire, sur la base de données historiques mais également issues de **campagnes terrain de prélèvement à mener en hautes eaux et basses eaux**. Dans le cas où ces eaux présenteraient des signatures chimiques distinctes selon les secteurs, cela pourrait remettre en question certaines des hypothèses émises dans la présente étude sur l'origine de l'eau. Croiser ces résultats avec ceux issus d'une campagne complémentaire de **datation des eaux** pourrait également permettre d'affiner la connaissance sur ce point.

Cette zone de bordure est la mieux documentée des trois zones de bordures examinées dans la présente étude. De ce fait, la réalisation d'ouvrage de reconnaissance n'est pas réellement nécessaire. Toutefois, il ne semble pas superflu de maintenir un effort continu dans la **fouille documentaire** sur les ouvrages déjà existants mais qui seraient, à ce jour, passablement décrits.

Les hypothèses émises sur une potentielle variation spatiale du sens des échanges entre la nappe et la Bruche au sein de la zone d'étude mériteraient d'être vérifiées sur la base d'autres métriques (jaugeage différentiel le long de la Bruche entre Molsheim et Ernolsheim-sur-Bruche, analyses hydrochimiques, corrélogrammes croisés piézométrie/débit, bilan hydrique complet via une modélisation globale avec prise en compte des données de pluies et de prélèvements avoisinants...).

Dans le cadre des prochains inventaires de la qualité des eaux souterraines du Fossé rhénan, il serait pertinent de :

- **réintégrer l'ouvrage 02714X0148/F** localisé au sein de la ferme Jaegerhof, au Sud de Dachstein-gare, qui a fait seulement l'objet de deux campagnes de suivi en 1991 et 1997, avec des teneurs relevées en nitrates de 200 puis 150 mg/l, très largement supérieure à ce qui est montré par l'interpolation réalisée dans le cadre de l'inventaire 2009 ;
- **poursuivre le suivi** de la pollution au bromacil mise en évidence sur l'ouvrage 02718X0005/G1 de Griesheim-près-Molsheim lors du dernier inventaire. Si celle-ci est confirmée, il sera alors nécessaire d'en rechercher les causes amont par une étude locale plus fine.

6. Conclusion

L'étude du fonctionnement hydrogéologique des zones de transition reliant hydrauliquement les Vosges à la nappe d'Alsace *sensu stricto*, constitue l'une des actions prioritaires du programme 2011-2014. Ce genre d'étude participe à renforcer les objectifs de la BRAR qui sont d'acquérir et de diffuser les connaissances sur l'aquifère rhénan.

Grâce à l'enrichissement en continu de la BRAR et à la valorisation des données locales acquises, trois synthèses hydrogéologiques de bordure ont pu être menées. Elles ont porté sur les secteurs du « Graben de Pfulgiesheim », de « Mommenheim-Brumath-cône de la Zorn » et de « Entzheim–basse vallée de la Bruche », tous trois situés dans le département du Bas-Rhin.

La méthodologie adoptée a été menée de façon systématique pour l'ensemble des trois zones. A partir de la synthèse et l'analyse des informations disponibles, le périmètre de chaque zone d'étude a été délimité. Replacée dans leur contexte géologique et hydrogéologique, chaque zone a fait l'objet d'une étude approfondie précisant notamment les directions principales des écoulements souterrains et les interactions entre les différents apports en eaux souterraines et superficielles avec la nappe d'Alsace.

La caractérisation de ces zones apporte des informations précieuses sur les différents apports d'eaux et permet d'estimer leurs vulnérabilités (présence ou non de formations superficielles protectrices). Elles mettent également en avant les lacunes d'information sur certains sous-secteurs et permettent ainsi d'aboutir à des recommandations sur des études complémentaires à mener dans le futur.

Le prochain programme de la BRAR s'attachera à poursuivre ce bilan de connaissance sur d'autres zones de bordure déjà identifiées, s'appuyant toujours sur des études historiques localisées mais profitant également de l'enrichissement permanent des informations ponctuelles de la BRAR.

7. Bibliographie

7.1. BIBLIOGRAPHIE GENERALE

Allier D., Tormo F., Brugeron A. (2011) – Evaluation préliminaire du risque d'inondations par remontées de nappes. Rapport public BRGM/RP-59890-FR.

Birtler C., Elsass P. (2006) – Région Alsace. Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan – Programme 2003-2006. Rapport final, Rapport BRGM/RP-54876-FR

Brugeron. A., Allier. D., Klinka. T (2012) – Approche exploratoire des liens entre référentiels hydrogéologique et hydrographique Première identification des piézomètres potentiellement représentatifs d'une relation nappe/rivière et contribution à leur valorisation. Rapport final BRGM/RP-61047-FR.

DRAAF Alsace (2014) – Une Agriculture Alsacienne aux Multiples Visages. Recensement agricole 2010. Agreste Alsace. Dossier n°3. Janvier 2014.

Elsass P. (1996) – Région Alsace. Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR). Compte-rendu d'avancement 1995 : Fichiers du substratum. Rapport BRGM/RR-38643-FR.

Elsass P. (2009) – Région Alsace. Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR). Rapport technique sur les travaux réalisés en 2008. Rapport BRGM/ALSNT09N01.

Elsass P., Surdyk N. (2009) – Région Alsace. Etude prospective de l'évolution des concentrations en produits phytosanitaires en nappe d'Alsace. Rapport BRGM/RP-57404-FR.

Foucault A., Raoult J.-F. (2001) – Dictionnaire de géologie. 5^{ème} Edition. Editions DUNOD, Paris, 2001.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, LUBW (2002-2006) – Projet Interreg III – « Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin supérieur (MoNit) ».

Mardhel V., Gravier A. (2005) – Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie. Rapport BRGM/RP-54148-FR.

Mardhel V. (2010) – Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines du bassin Rhin-Meuse et de la région Lorraine. Rapport BRGM/RP-56539-FR.

Menillet F. (1995) – Les formations superficielles des Vosges et de l'Alsace. Identification, potentialités, contraintes. Rapport BRGM R38640, 106 p., 34 fig., 4 tabl., 20 ph.

Région Alsace (2009-2012) – Rapport final du projet Interreg IV – « Liaison Opérationnelle pour la Gestion de l'Aquifère Rhénan / LOGAR ».

Région Alsace (2012) – Inventaire 2009 de la qualité des eaux souterraines dans le Fossé rhénan supérieur.

Richert J. (2004) – Détermination des vitesses de transfert de l'eau, des nitrates et d'autres solutés dans la zone non saturée dans un loess profond. Rapport Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin.

Risler J.-J., Elsass P., Kauffmann C., Schafer G. (2006) - Plaine d'Alsace. Aquifères & Eaux souterraine en France - Tome 1. Éditions BRGM.

Simler L., Millot G. (1967) — Le réseau hydrographique alsacien à l'époque pliocène. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 20, 3, p. 159-16.

Toulet F., Lihmann D. (2013) - Réseau piézométrique de la région Alsace - Gestion 2012. Rapport final APRONA.

Urban S., Boucher J. (2011) – Région Alsace. Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan – Programme 2008-2010. Rapport final BRGM/RP-59978-FR.

Urban S., Boucher J., Mardhel V., Xu D., Schomburgk S. (2013) – Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Rhin-Meuse. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Alsace. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62217-FR.

Vogt H. (1992) – Le relief en Alsace. Etude géomorphologique du rebord sud-occidental du Fossé Rhénan, 240 p., Oberlin ed., Strasbourg.

7.2. BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE A LA ZONE « GRABEN DE PFULGRIESHEIM »

Buard C., Talbot A. (1994) – Recherche de nouvelles ressources. Note BRGM/Alsace. N 500 STR 4593.

BRGM (1972) – Carte géologique de la France à 1/50000. Feuille n°XXXVIII-15 de Brumath-Drusenheim.

Communauté Urbaine de Strasbourg, CUS (2012) - Rapport annuel 2012 sur la qualité et le prix du service de l'eau et de l'assainissement.

Elsass P., Rau S. (1995) – Projet DR EG 52. Notice des coupes hydrogéologiques de la feuille Strasbourg-Offenburg. Rapport BRGM/RR-38272-FR.

Frey C. (2006) – Recherche de nouvelles ressources en eau. Réalisation d'un forage de reconnaissance à Oberhausbergen (67). Etude de faisabilité. Rapport ANTEA A 41248/A pour la CUS, 22 p., 1 ann.

Gemin V., Meurer T., Mathieu F. (1998) – Recherche de nouvelles ressources en eau potable sur le site de Pfulgriesheim (67). Etude hydrogéologique complémentaire. Rapport ANTEA A 13783 pour le SDEA, 47 p., 13 ann.

Skrzypek E., Cruz Mermy D., Chèvremont P. et Ménillet F. (2007) - Carte géologique harmonisée du département du Bas-Rhin (67). Notice géologique. BRGM/RP-56028-FR, 319 p., 4 fig., 3 tab., 8 ann., 3 pl. horstexte

Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle (SDEA) (2014) – Rapport annuel 2013 sur le prix et la qualité du service public d'eau potable. Syndicat des Eaux de Strasbourg-Nord. Version du 15/05/2014.

Talbot A., Bendler J. (2004) – Observatoire de la nappe au droit du territoire de la CUS. Ancienne décharge d'Oberschaeffolsheim-Ittenheim (67). Suivi de la qualité des eaux souterraines. Rapport ANTEA A 33895/A pour la CUS, 24 p., 5 ann.

7.3. BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE A LA ZONE « MOMMENHEIM-BRUMATH-CONE DE LA ZORN »

Agence de Développement Et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourgeoise, ADEUS (2013) – Référentiel paysager du Bas-Rhin. Synthèse sur le secteur des collines et deltas entre Zorn et Moder et forêt de Haguenau.

APRONA (2013) – Etude de la nappe du Plio-Quaternaire de la Terrasse de Haguenau-Riedseltz : de la synthèse des données à la modélisation. Rapport APRONA. 107 pages - 14 annexes – 40 références.

BURGEAP (1999) – Champ captant de Mommenheim (67) – Etude diagnostic sur la contamination en produits phytosanitaires. Rapport final à la demande du SDEA.

BRGM (1972) – Carte géologique de la France à 1/50000. Feuille n°XXXVIII-15 de Brumath-Drusenheim.

De Baulny H. (1966) - La Moder. Etude hydrologique. Rapport de thèse. Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Morel. G., Ungemach. P. (1971) – Etude hydrodynamique de la nappe des formations pliocènes de la région de Haguenau. Rapport hydrogéologique préliminaire a la simulation sur modèles mathématiques et analogies électriques. Rapport BRGM/71-SGN-249-SGAL.

Quesnel F., Lacquement F., Kramers E., Greder C., Elsass P. (2002) – Cartographie thématique numérique à 1/25 000 des formations superficielles de la Plaine rhénane sur les zones Centre-Plaine et Sud-Alsace. Rapport BRGM RP-52145-FR, 47 p., 8 fig., 2 ann.

Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle, SDEA (2014) – Rapport Annuel 2013 sur le Prix et la Qualité du Service Public d'Eau Potable. Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle. Communauté de communes de la Basse Zorn. 28/04/2014.

Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle, SDEA (2014) – Rapport Annuel 2013 sur le Prix et la Qualité du Service Public d'Eau Potable. Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle. Périmètre de Hochfelden et environs. 28/04/2014.

Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle, SDEA (2014) – Rapport Annuel 2013 sur le Prix et la Qualité du Service Public d'Eau Potable. Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle. Ville de Brumath. 25/07/2014.

Tridon E. (2012) – Etude sur la nappe Plio-Quaternaire de la Terrasse de Haguenau : synthèse des données hydrogéologiques et modélisation. Rapport de stage de fin d'études réalisé à l'APRONA.

Tridon E., Toulet F. (2013) – Champ captant de Mommenheim. Synthèse bibliographique. Rapport APRONA.

Urban. S., Winckel. A., Surdyk. N., Gourcy. L., Mazoyer. E (2013) - Etude prospective de l'évolution des concentrations en nitrates et phytosanitaires pour les captages de Mommenheim et de la ville de Mulhouse (Hardt Sud). Rapport final BRGM/RP-61711-FR, 209 p., 144 ill. , 3 ann., 1 CD.

7.4. BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE A LA ZONE « ENTZHEIM-BASSE VALLEE DE LA BRUCHE »

Agence de Développement Et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourgeoise, ADEUS (2011) – Référentiel paysager du Bas-Rhin. Synthèse sur le secteur de la vallée de la Bruche.

BRGM (1971) – Carte géologique de la France à 1/50000. Feuille n°XXXVIII-16 de Strasbourg et sa notice descriptive.

BRGM (1975) – Carte géologique de la France à 1/50000. Feuille n°XXXVII-16 de Molsheim et sa notice descriptive : Mont-Ste Odile, Vallée de la Bruche, Nideck.

Daessle. M. (1979) – Recherche d'eau dans la zone industrielle d'Ernolsheim sur Bruche. Puits expérimental n°272-1-87. Janvier 1979

Reboucas. A.D.C (1964) – Etude hydrogéologique de la région comprise entre les vallées de la Bruche et du Giessen. Mémoire présenté à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg – Institut de géologie, le 29 juin 1964.

Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle, SDEA (2014) – Rapport Annuel 2013 sur le Prix et la Qualité du Service Public d'Eau Potable. Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle. Communauté de communes de la région de Molsheim-Mutzig. 02/06/2014.

Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle, SDEA (2014) – Rapport Annuel 2013 sur le Prix et la Qualité du Service Public d'Eau Potable. Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle. Périmètre de Griesheim-près-Molsheim. 22/04/2014.

Schwoerer. P. (1977) – Note concernant la recherche d'eau dans la zone industrielle d'Ernolsheim-sur-Bruche (Bas-Rhin). Avril 1977.

Simler L., Millot G., Fischer E., Gilly S. (1967) - La basse vallée de la Bruche à l'époque pliocène. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., t. 20, 3, p. 167-173.

Simler. L. (1971) – Syndicat des Eaux de Molsheim - Etude des possibilités aquifères des alluvions de la BRUCHE - 14 décembre 1961.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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 Alsace

Parc Activités Porte Sud
Rue Pont du Péage – Bâtiment H1
67118 – GEISPOLSHHEIM - France

Tél. : 03 88 77 48 90